Universidad Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

TESIS DOCTORAL

Modelización de los indicadores de explotación de aeronaves comerciales en función de variables tecnológicas, organizativas y conceptuales

Autor:

Daniel F. Gallego Ramos

Director/es:

Dr. Gil Gutiérrez Casas
Dr. Jacinto J. Alonso Pérez

Tutor:

Dr. Gil Gutiérrez Casas

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

Leganés, diciembre de 2.014

Universidad Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

TESIS DOCTORAL

MODELIZACIÓN DE LOS INDICADORES DE EXPLOTACIÓN DE AERONAVES COMERCIALES EN FUNCIÓN DE VARIABLES TECNOLÓGICAS, ORGANIZATIVAS Y CONCEPTUALES

Autor: *Daniel F. Gallego Ramos*

Director/es: Dr. Gil Gutiérrez Casas
Dr. Jacinto J. Alonso Pérez

Firma del Tribunal Calificador:

Firma

Presidente: (Nombre y apellidos)

Vocal: (Nombre y apellidos)

Secretario: (Nombre y apellidos)

Calificación:

Leganés, de de

A mi mujer Ana y mis hijos Daniel y Gonzalo por hacerme sentir alguien mejor de lo que realmente soy y convertirse en el estímulo de mi vida.

A mi madre porque puso fe donde ya no había.

Y muy especialmente para mi padre, por todo lo que le echo de menos cada día.

AGRADECIMIENTOS

La nómina de agradecimientos es grande y seguro que a pesar de todo quedará incompleta, pero me imagino que les habrá pasado a la mayoría de los que se han visto en un momento como este, ya que para llegar hasta aquí, hace falta la ayuda y la complicidad de muchas personas, tantas, que siempre queda la sensación de estar siendo injusto con alguien. Por ello, además de mi gratitud a los aquí mencionados, quiero pedir disculpas a los inmerecidamente omitidos, para que no duden de mi agradecimiento y cariño por su contribución.

En mi caso, es de justicia empezar incluyendo ex aequo y sin jerarquías, a mis dos directores de tesis D. Gil Gutierrez Casas y D. Jacinto J. Alonso Pérez, porque sin ellos, con toda certeza, este documento no hubiera sido posible. No me quiero olvidar, y por ello le menciono inmediatamente a continuación, de D. Alfonso Durán Heras, al que agradezco la predisposición y las gestiones para que esta tesis pudiera hacerse una realidad en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Carlos III de Madrid. Me quiero acordar también de Miguel Mercé Bermejo, Fernando Padín Méndez y Rafael E. González Díaz, porque fueron artífices, de alguna manera, de mi entrada y posterior asentamiento en la docencia universitaria, hecho crucial para la necesidad de este documento. Asimismo, dentro del mundo académico, mención especial hacia el resto de mis compañeros y a muchos de mis alumnos, a los que nombro en general, no por ser menos importantes, sino para no exceder de lo razonable, hacen del trabajo diario un privilegio.

Además, expresamente, quiero dar las gracias y pedir disculpas a partes iguales a mi familia, a todos, pero especialmente a mi mujer y a mis hijos, porque confieso con rubor, que aunque en algunos momentos les robé dedicación, en otros, tuve la sensación de que me robaban un precioso tiempo que debía dedicar a este trabajo y eso me llevó equivocadamente al convencimiento de que si, por exigencias del día a día, no conseguía terminar esta tesis, ese tiempo y esa dedicación que les entregaba, hubieran sido los responsables. Hace ya tiempo que me di cuenta de mi error, la realidad es que si lo he conseguido, ha sido gracias precisa e imprescindiblemente a ellos. Ellos han sido una pesada carga, pero de combustible, que como en el caso de un avión, han limitado mi capacidad y han dificultado el despegue, pero muy por encima de ello me han suministrado mucha más energía de la que me han demandado, por lo que evidentemente, sin ellos no habría habido viaje a ninguna parte. Además, estar aquí, sólo vale la pena si es con su presencia. - Os quiero y os necesito -.

Quiero terminar transmitiendo mi infinita gratitud a mi madre y a mi padre, que aunque él ya no esté físicamente, está en mi corazón y en la memoria de todos. Y quiero terminar con ellos, porque todo empezó en ellos, siguió con ellos y ahora llegando al objetivo, debe acabar también en ellos. Gracias con todo mi cariño y añoranza.

RESUMEN

A lo largo de la historia de la aviación comercial, se han ido incorporando con toda naturalidad avances de todo tipo. Estos avances, que en muchos de los casos eran absolutamente novedosos en la industria general, han ido haciendo década tras década que la industria aeroespacial sea la pionera en materiales, tecnología, gestión y conceptos.

En esta tesis, se pretende evaluar la vinculación a lo largo de su evolución en el tiempo de las mejoras, innovaciones y desarrollos para las aeronaves de pasajeros y los indicadores clave de explotación de las aerolíneas.

Para ello, se van a utilizar técnicas estadísticas de análisis multivariante en dos etapas diferentes. Por un lado, se pretende caracterizar las aeronaves en función de unos parámetros objetivos, que buscan recoger y cuantificar las diferentes evoluciones de las mismas. Una vez demostrado que esas variables caracterizadoras recogen de una manera fiable y robusta la evolución histórica de las aeronaves comerciales y tras la depuración de las mismas, eliminando valores atípicos y valorando su homogeneidad, se contrastará su influencia en los indicadores clave manejados por las aerolíneas y sus asociaciones.

Para esta segunda etapa, se van a utilizar como muestra, los indicadores clave suministrados anualmente por la ATA (Air Transport Association of America) y su heredera A4A (Airlines for America), evaluando la posibilidad de correlaciones multivariantes entre estos indicadores y las variables características depuradas y contrastadas obtenidas en la primera parte de la tesis.

El problema central del análisis de estos datos, una vez que se elige trabajar con una muestra, será decidir si las propiedades encontradas en dicha muestra podrán generalizarse a la población de la que provienen como una de las hipótesis clave a contrastar, la inferencia de las conclusiones al total de la población.

Una vez los modelos de predicción estadísticos multivariantes están construidos, se pueden utilizar para inferir los indicadores de rendimiento de aeronaves no incluidas en el modelo, contrastando la validez del mismo para toda la población y para aeronaves de última generación.

La corroboración del modelo, permitirá su uso en la predicción de indicadores clave para las aerolíneas, partiendo de parámetros técnicos de diseño de las aeronaves y esto permitiría optimizar la planificación de su flota y sus inversiones, gracias a predicciones previas incluso a la comercialización de las aeronaves.

ABSTRACT

Throughout the history of civil aviation, advances of all kinds have been incorporated with ease. These advances, that in many of the cases were absolutely novel in the general industry, have been making the aerospace industry the pioneer in materials, technology, management and concepts decade after decade.

In this thesis, the entailment throughout its evolution in time of improvements, innovations and developments for the airships of indicating passengers and the key of production and operation of the airlines is trying to be evaluated.

For that, techniques of multivariate statistical analysis in two different stages are going to be used. On the one hand, we pretend to characterize the airships based on objective parameters, which seek to gather and to quantify the different evolutions from themselves. On the other hand, once demonstrated that those characterizing variables gather the historical evolution of the commercial airships in a trustworthy and robust way and after the depuration of said variables, eliminating atypical values and evaluating its homogeneity, its influence in the key indicators will be handled by the airlines and their associations.

For this second stage, the key performance indicators provided annually by ATA (Air Transport Association of America) and its successor A4A (Airlines for America) are going to be used as sample, evaluating the possibility of multivariate correlations between these indicators and the variable characteristics obtained in the first part of the thesis.

The central problem of the analysis of these data, once it is chosen to work with a sample, will be to decide if the properties found in said sample will be able to become general for the population from which they come as one of the key hypotheses to contrast.

Once the multivariate statistical prediction models are constructed, they can be used to infer the key performance indicators of airships not included in the model, contrasting its validity for all the population and last generation aircraft.

The model's validation will allow its use in the key indicators prediction for the airlines, starting off from aircraft's design technical parameters, optimizing the planning of its fleet and its investments thanks to previous predictions even to the commercialization of the aircraft.

INDICE GENERAL

INDICE DE GRÁFICOS

INDICE DE TABLAS

INDICE de ilustraciones, imágenes y figuras

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

Como corresponde a un escrito científico, todos los capítulos de esta tesis, están redactados en tercera persona e intencionadamente, aunque cada línea esté cargada de emoción y esfuerzo, en ningún momento el ¬yo" autor ha querido cruzarse en el texto. Sin embargo, llegada la hora de escribir este apartado, que lleva por título ¬motivación", no sé si de manera acertada o equivocada, me ha parecido inevitable y conveniente desarrollarlo excepcionalmente de una manera personalizada y subjetiva. Tan personal y subjetiva, como lo son mis motivaciones como autor para emprender este viaje llamado tesis doctoral.

Me atrevo a asegurar, que el camino hacia este momento empezó sin que yo mismo tuviera consciencia de ello. Y debo confesar, que los acontecimientos se han ido sucediendo de la misma manera, como si no hubiera un guión preestablecido y las circunstancias fueran las que sutilmente hayan guiado mis decisiones hasta hoy. Los coprotagonistas que tan generosamente me han ido haciendo más fácil todo este recorrido de más de 20 años, ya tienen su lugar en el capítulo de agradecimientos, pero los hechos no, por ello creo que es fundamental para colegir las motivaciones, destacar los momentos más especiales que cimentaron todo el proceso hasta hoy.

Al echar la vista hacia atrás para encontrar esos momentos en los que empezó todo, no puedo evitar recordar el célebre discurso de Steve Jobs en la Universidad de Stanford E[1], en el que contaba a los centenares de estudiantes que asistían entregados, su teoría de conectar los puntos. Les refería, cómo al repasar su vida, había cosas que en el momento en el que las vivió eran como puntos aislados sin conexión aparente con el resto de

acontecimientos. Incluso, algunos de esos puntos o sucesos se remontaban a él mismo, y apuntaban a las circunstancias que rodearon su nacimiento y su posterior adopción. Todos estos puntos o hechos, caprichos del destino o decisiones personales, en el momento en el que estaban pasando, había que considerarlos, cuando menos, contrariedades o frustraciones que parecían lastrar cualquier futuro. Las decisiones personales, podrían haber sido consideradas hasta una locura, un sinsentido censurable y una pérdida de tiempo irreparable. Era imposible unir los puntos mirando hacia delante, la moraleja es que, con el paso de los años, era muy fácil unirlos mirando hacia atrás y si lo hacía, como si se tratara de un pasatiempo infantil en el que hay que encontrar el dibujo oculto, la figura tomaba forma, y se veía un hilo conductor que explicaba mejor el presente. Como remarca en su discurso Steve Jobs, —nose pueden conectar los puntos hacia delante, sólo puedes hacerlo hacia atrás, y hay que confiar en que los puntos se conectarán alguna vez en el futuro".

Por eso era difícil mirando al futuro, pensar que cuando en el otoño de 1990, se me brinda la posibilidad de entrar como profesor interino a tiempo parcial en la Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos Aeronáuticos, estaba en uno de esos puntos que hoy, mirando hacia atrás, parece claro que forma parte de ese dibujo oculto que estamos descubriendo. Seguramente fue la primera ficha de un dominó preparado para un efecto mariposa gigante, una ficha, que puso en marcha todo el proceso, en el que sucesivamente, irían apareciendo los eslabones de esta cadena que nos ocupa.

Pero siendo un buen principio, hubo que esperar otros 8 años de inversión a fondo perdido, para encontrar otro de los puntos, sin duda el más relevante para decantar el objetivo. Ese punto, aparece en el momento en el que tengo la oportunidad de opositar a la plaza de profesor titular de escuela universitaria en diciembre de 1998. El hecho de ganar la oposición, cambia mi vida, y hace que lo que era una dedicación secundaria a la docencia, se transforme, haciendo que precisamente la docencia, se convierta desde entonces en mi principal ocupación profesional. Indudablemente, esto hizo que la investigación y el doctorado antes o después llamasen a mi puerta.

He ido conectando los puntos hacia atrás y el bucle se cierra a pocos metros de la hoy Universidad Carlos III de Leganés, donde un niño de apenas cuatro años, empezaba su camino académico en el viejo Colegio Nacional Juan de Austria allá por septiembre de 1967. Y por casualidades de la vida, unos años, no pocos, después, a pocos metros del lugar

donde todo empezó se puede poner el broche final. Es como si el destino hubiera querido unir el principio y el fin, una vez más completamos un dibujo, en este caso, uno de esos que hay que trazar sin levantar el lápiz del papel.

La tesis doctoral es por ello, un sueño que hasta hace poco no me permití tener, un reto que ha motivado mi día a día en los últimos años, una necesidad para mi carrera profesional como docente y la ilusión de ofrecer a los que me quieren un motivo para sentirse un poco más orgullosos de mí.

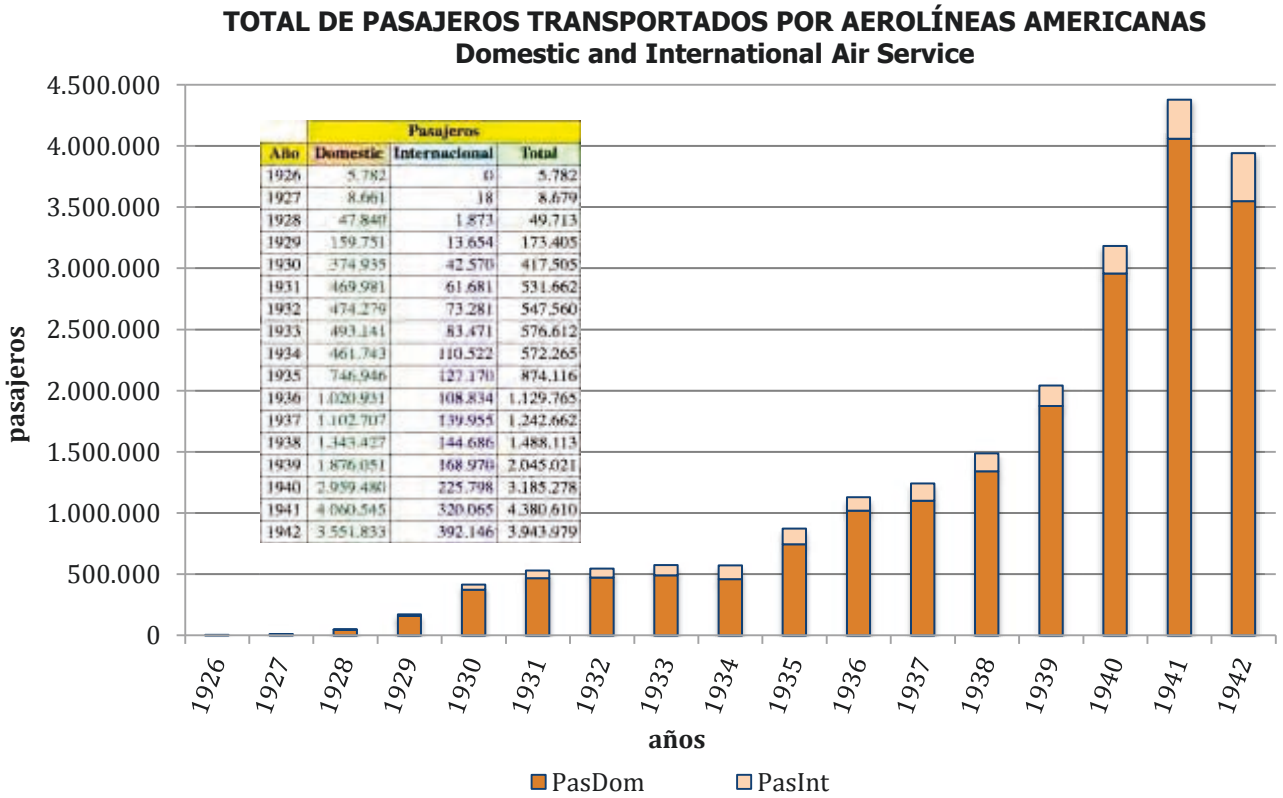
La Universidad Carlos III, la siento como mi casa, está en la ciudad en la que he crecido, se ubica al lado de mi colegio y mis recuerdos de infancia y en todo momento me ha recibido con los brazos abiertos. La Universidad Politécnica de Madrid y en concreto la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio, es mi casa. Llevo más de 30 años recorriendo sus pasillos, habitando sus aulas y trabajando para ser y hacerla mejor. Parecía lógico que esta tesis, tenía que unir como un puente mi pasión por los aviones y mi pasión por la gestión y la economía, y creo haber encontrado una manera de hacerlo. No es la única y estoy seguro que ni siquiera es de las mejores, pero confío que esté a la altura de ambas instituciones.

No sé, si ahora que termino mi exposición de motivos, estos configuran un argumento suficiente, pero lo que sí puedo asegurar, es que son un argumento sincero.

1.2. Objetivo de la Tesis

Como cualquier otra disciplina tecnológica o científica, la aeronáutica ha tenido un gran desarrollo desde sus orígenes hasta alcanzar su actual nivel. Este desarrollo en ocasiones se ha debido a avances enteramente aeronáuticos y en otras, ha bebido del desarrollo y los avances que lograba la ciencia y la ingeniería a su alrededor.

Estudiando las características de las aeronaves comerciales desde los años 30, fecha en la que se puede considerar que la aviación comercial para el transporte de pasajeros tiene una presencia significativa en el contexto del transporte de personas (según se puede constatar en el gráfico 1.2-1) I[1], se pueden deducir, desde la evolución de las mismas, los parámetros o variables que caracterizan una aeronave de cualquier época. Estas variables tecnológicas y conceptuales se seleccionan con la premisa de tener que recoger todos los avances, sean del tipo que sean con la condición de que hayan sido incorporados a dicha aeronave. Si como ejemplo de evolución tecnológica tomáramos la incorporación de los motores a reacción, a las aeronaves de pasajeros, veríamos que ésta innovación, estaría



	Pasajeros		
Año	Domestic	Internacional	Total
1926	5.782	0	5.782
1927	8.661	18	8.679
1928	47.840	1.873	49.713
1929	159.751	13.654	173.405
1930	374.935	42.570	417.505
1931	469.981	61.681	531.662
1932	474.279	73.281	547.560
1933	493.141	83.471	576.612
1934	461.743	110.522	572.265
1935	746.946	127.170	874.116
1936	1.020.931	108.834	1.129.765
1937	1.102.707	139.955	1.242.662
1938	1.343.427	144.686	1.488.113
1939	1.876.051	168.970	2.045.021
1940	2.959.480	225.798	3.185.278
1941	4.060.545	320.065	4.380.610
1942	3.551.833	392.146	3.943.979

Gráfico 1.2-1 Source: Civil Aeronautics Administration

recogida en parámetros (variables caracterizadoras) como el empuje de los motores, el alcance, el consumo y la velocidad o la altura de crucero entre otras.

El otro universo a estudiar vendrá constituido por los costes de producción y explotación de las aeronaves comerciales por parte de las aerolíneas, entendiendo como tal, las medidas de rendimiento y productividad que utilizan las propias compañías. Se van a definir por tanto, los parámetros de valoración de la productividad y la rentabilidad en la explotación de las aeronaves para el transporte de pasajeros, por parte de las aerolíneas, que en adelante se van a denominar como Indicadores Clave de Rendimiento o KPIs, del inglés Key Performance Indicators.

Si se analizan para una muestra de datos, las correlaciones entre las variables caracterizadoras y los KPIs seleccionados, se podrían vincular criterios de rentabilidad a variables caracterizadoras, modelando la influencia de cualesquiera cambios conceptuales o tecnológicos en la rentabilidad de una aeronave, lo que permitirá evaluar a priori su rendimiento, en función de sus características geométricas, estructurales y técnicas.

De esta manera, se puede concluir que el objetivo que esta tesis se marca es el de la creación de un modelo que vincule datos sobre características y performances de una aeronave y su posterior productividad y rendimiento en una aerolínea, en un entorno general estable. Se pretende que este modelo una vez corroborado, pueda ayudar a las compañías aéreas en la toma de decisiones sobre la configuración de su flota, en función únicamente de las características de las aeronaves.

No entra dentro de los objetivos de esta tesis evaluar la influencia del entorno socioeconómico y legal, si bien es posible que perturbe en algún momento el crecimiento o decrecimiento de la demanda, a efectos de tendencias no afecta a la validez del modelo, ya que simplemente se vería modificado por un factor corrector exógeno, que afectaría a todos los tipos de aeronaves.

Además, observando las tendencias del sector en función del PIB mundial, se puede apreciar que el sector sigue dichas tendencias, compensando economías recesivas con economías emergentes, como está sucediendo en estos momentos. Gráfico 1.2-2. I[2]

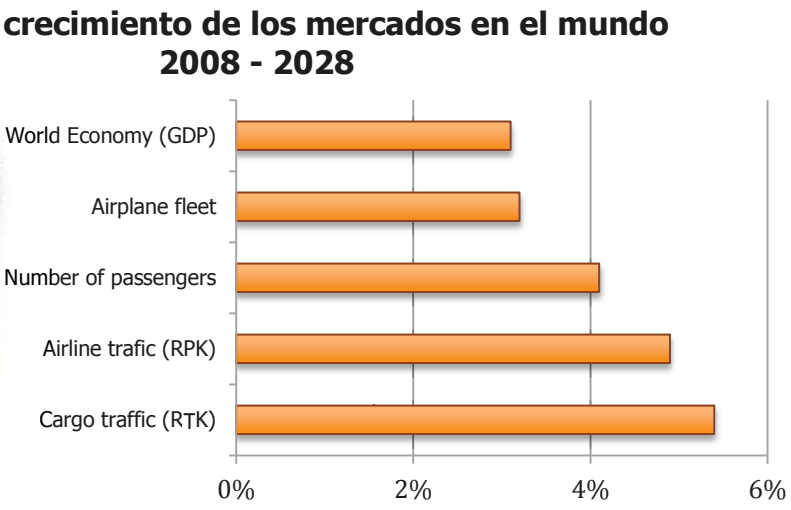


Gráfico 1-2.2

Source: Current Market Outlook 2009-2028. Boeing 2009/08

Se dejan para un estudio posterior las modificaciones necesarias en el modelo para poder introducir este tipo de entornos como parte importante para la toma de decisiones, entendiendo que si bien cualitativamente afecta por igual a todas las aeronaves, no lo hace cuantitativamente y que una compañía aérea que no tenga ámbito mundial, no podría compensar las demandas de unas partes del mundo con las de las otras.

1.3. Justificación de la Tesis

A pesar de la crisis económica, se espera que las economías de los mercados emergentes continúen creciendo durante los próximos 20 años; el crecimiento tanto de sus economías como demográfico está beneficiando al transporte aéreo. La liberalización global continuada está dando mayor acceso a los mercados a las líneas aéreas y una más amplia oferta a los pasajeros. Las compañías de bajo coste también continuarán creciendo en todo el mundo, pero particularmente en Asia, mientras que la red de líneas aéreas se beneficiarán de una demanda importante en los mercados internacionales y de una oleada de nuevos consumidores de viajes internacionales procedentes de los países emergentes.

No hay duda que la agitación financiera de 2008 y el descenso resultante en la economía mundial, ha afectado a la demanda de pasajeros y al crecimiento del tráfico a corto plazo. Sin embargo, en el análisis del período 2009-2028 tanto por parte de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional), como por parte de los dos mayores constructores de aviones de pasajeros Boeing y Airbus, coinciden en el pronóstico de que el descenso afectará durante un periodo bastante corto. Se espera que el tráfico de pasajeros en la totalidad del mundo aumente en un 4,6% por año y la frecuencia de vuelos ofrecida a los pasajeros en las diferentes rutas será más del doble, para el periodo de estudio. I[3]

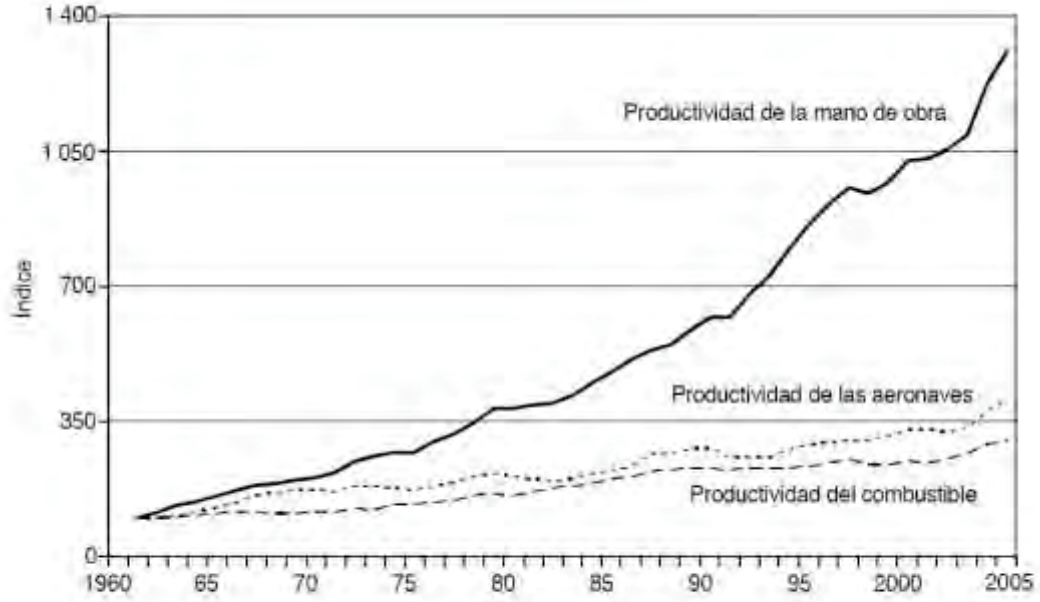
Tabla 1.3-1. Pronósticos de la OACI sobre tráfico aéreo – Mundial (1985-2025) (Estados contratantes de la OACI)

Servicios regulares	Real 1985	Real 2005	Pronóstico 2025	Tasa media de crecimiento anual %	
				1985-2005	2005-2025
TOTAL					
Pasajeros-kilómetros (miles de millones)	1.366	3.720	9.180	5,1	4,6
Toneladas-kilómetros (millones)	39.813	142.579	510.000	6,6	6,6
Pasajeros transportados (millones)	896	2.022	4.500	4,2	4,1
Toneladas de carga transportadas (miles)	13.742	37.660	145.000	5,2	5,5
Aeronaves-kilómetros (millones)[1]	n.d.	30.845	69.040	n.d.	4,1
Salidas de aeronaves (miles)	n.d.	24.904	50.450	n.d.	3.6
INTERNACIONAL					
Pasajeros-kilómetros (miles de millones)	589	2.197	6.225	6,8	5,3
Toneladas-kilómetros (millones)	29.384	118.482	452.120	7,2	6,9
Pasajeros transportados (millones)	194	704	1.950	6,7	5,2
Toneladas de carga transportadas (miles)	5.884	22.630	110.000	7,0	6,5

Fuente: OACI.

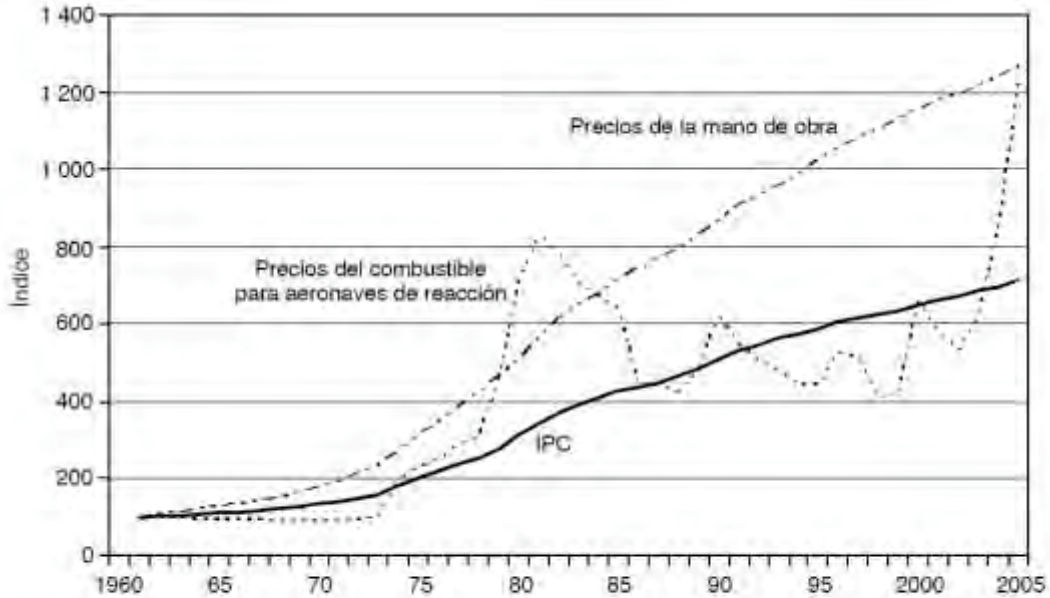
[1]*En 1.985 no se contaba con datos sobre las operaciones de las líneas aéreas en la ex URSS*

Las aerolíneas tendrán que enfrentarse al hecho de los crecientes costes de combustible (gráfico 1.3-2), el aumento de la competencia y la inestabilidad del sector, sin olvidar que las líneas aéreas han alcanzado ya aumentos considerables de productividad (gráfico 1.3-1) I[3]. A día de hoy, son muy pocos los asientos que —sepierden", con coeficientes de carga muy altos en la mayoría de los mercados y todo ello a la espera de que los mercados y los flujos de demanda resultantes se recuperen en breve.



Fuente: OACI, BACK Aviation Associates, FMI, OCDE.

Gráfico 1.3-1 **Tendencias en la productividad de las líneas aéreas — Mundial (1960-2005)**

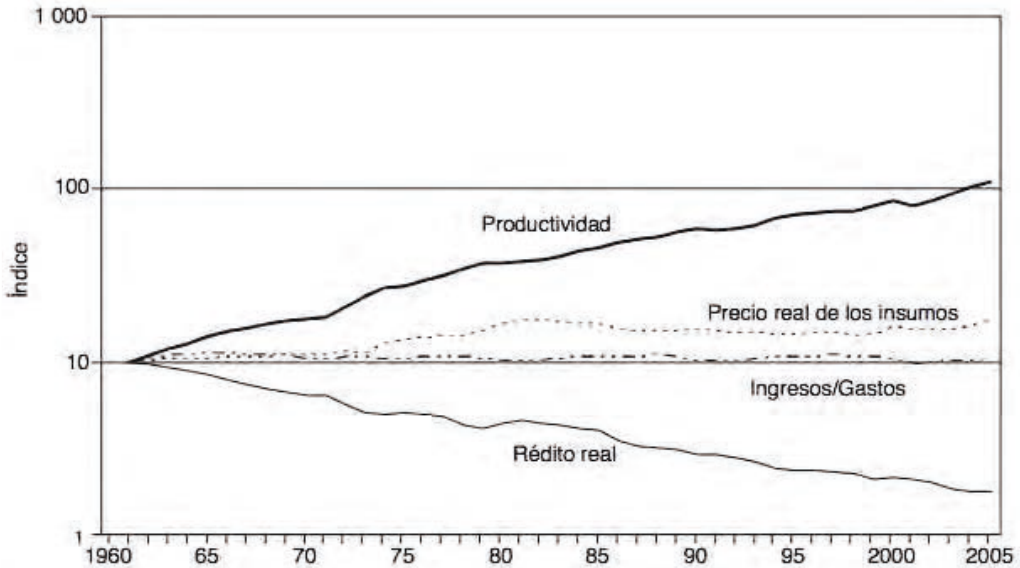


Fuente: FMI, OCDE, Ministerio de Energía de los Estados Unidos.

Gráfico 1.3-2 **Tendencias en el precio de los insumos — Mundial (1960-2005)**

Habrá una fuerte presión a la baja sobre los precios del billete y las tarifas de carga. Los rendimientos medios de las líneas aéreas continuarán disminuyendo en términos reales. Se ha vivido una caída de los rendimientos más acusada en los primeros años del siglo a causa del exceso de capacidad, resultante a su vez del exceso de encargos de aeronaves a mediados de los 90, y a causa también de los "cielos abiertos". Las nuevas compañías de "bajo coste" seguirán incidiendo en la bajada de los niveles tarifarios, especialmente en Europa y más tarde en otras regiones como el sudeste asiático.

La caída de los rendimientos ha aumentado y seguirá aumentando (gráfico 1.3-3) I[3] la presión para recortar los costes unitarios. La reducción de costes se convertirá en un requisito esencial continuo y a largo plazo para el éxito financiero. Las compañías aéreas no se verán ayudadas por la imprevista inestabilidad del precio real del combustible (en capítulos y apartados posteriores se adjuntan gráficos y datos actualizados hasta 2012 del precio del combustible y se puede ver el pico de 2008 y las consecuencias de la crisis: Gráfico 2.6-5, p.80). El mayor énfasis se pondrá por ello en reducir el coste de combustible por pasajero y milla recorrida, así como en el coste de la mano de obra a través de recortes de plantilla, de mejores prácticas laborales y de externalización, no sólo de funciones como el catering sino incluso del propio vuelo, a operadores con menores costes. Las compañías aéreas también reubicarán cada vez más ciertas actividades y personal en economías de salarios bajos.



Fuente: FMI, Formularios A y EF de información de transporte aéreo de la OACI.

Gráfico 1.3-3 Tendencias en el rendimiento de la industria de las líneas aéreas — Mundial (1960-2005)

Tanto para reducir los costes como para mejorar el servicio al cliente, las compañías aéreas usarán cada vez más el comercio electrónico no sólo para vender y distribuir sus productos, sino también para sus relaciones con otras empresas. El comercio electrónico revolucionará a su vez la relación cliente-compañía aérea y presionará a las agencias de viaje tradicionales y a los agentes de carga para que se adapten a una nueva realidad.

El continuo crecimiento del transporte aéreo pondrá a los sistemas de control de tránsito aéreo y a los aeropuertos bajo una tremenda presión, especialmente porque la capacidad actual ya es insuficiente en muchos aeropuertos y regiones de vuelo. Estos problemas se verán agravados por la presión de los ecologistas para la reducción tanto del ruido de los aeropuertos como de las emisiones de los aviones, instando a fabricantes y aerolíneas a motores más eficientes y silenciosos con tasas como el sistema europeo de comercio de emisiones (EU ETS - The European Union Emissions Trading System, en sus siglas en inglés I[15]), en vigor desde enero de 2012 para aerolíneas comunitarias y vuelos intracomunitarios y que obliga a pagar por las toneladas de emisiones de CO_2.

Para asegurar la existencia de suficiente capacidad aeroportuaria cuando no se puedan construir nuevas pistas en aeropuertos existentes, se recurrirá en mayor medida a aeropuertos satélite, muchos de los cuales se ubicarán en antiguos aeródromos militares. Se explorarán nuevas formas de asignar slots de pista a las compañías aéreas cuando la demanda supere la oferta.

Se espera que la privatización del control del tráfico aéreo en el Reino Unido para garantizar suficiencia de inversión abrirá camino a tales privatizaciones en otros países como España, que a tenor de las medidas de reducción del déficit anunciadas por el gobierno en diciembre de 2010, pretende privatizar una parte muy importante de AENA (Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea).

Cuando todas estas circunstancias comiencen a golpear, y se quiera optimizar la repercusión de los precios de combustible, se intente bajar la congestión y optimizar el impacto de los costes fijos, la lista de prioridades cambiará para muchas empresas en la industria. Pero desafortunadamente, esto significará una vuelta a los vuelos retrasados, las pérdidas económicas y mayores costes mientras que los mercados se recuperan. Algo que es público y notorio para la mayoría de los pasajeros, la mayoría de las líneas aéreas y la mayoría de

los aeropuertos de las ciudades importantes. Cualquier crecimiento futuro del tráfico y el aumento de las frecuencias, serán un nuevo desafío para la gestión del tráfico aéreo, de las infraestructuras y de los aeropuertos.

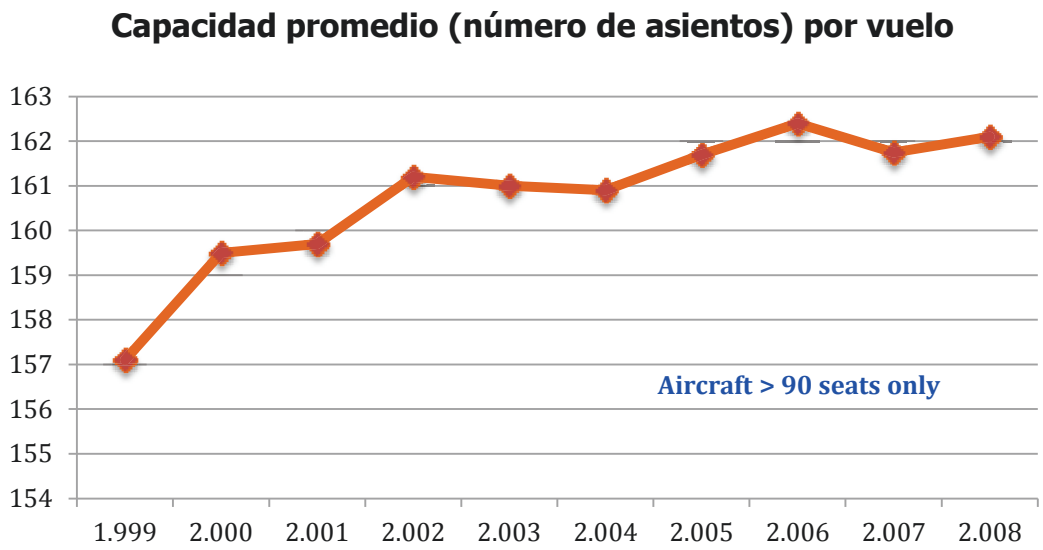


Gráfico 1.3-4 Source: Airbus, OAG, January 2009

Existen diferentes propuestas para enfrentarse a este desafío. Airbus predice que la solución pasa por un avión más grande, con sus costes reducidos por asiento en términos de efectivos y de CO_2, esta solución mejora todos los conceptos incluido el de la congestión del espacio y las infraestructuras aéreas. Hoy hay ya pruebas de esto, el tamaño del avión medio ha aumentado en todas las categorías, desde el avión regional más pequeño, al avión más grande (gráfico 1.3-4) I[4]. Esto, en opinión de Airbus y de Boeing en menor medida, nos conducirá a que el tamaño medio del avión aumente aproximadamente el 26% en los próximos 20 años (gráfico 1.3-5). I[5]

Todo ello desde la hipótesis de que todas las mejoras necesarias en la infraestructura, incluyendo las ya previstas, ya han sido o serán emprendidas durante el período del pronóstico (2009-2028). Sin embargo, dadas las cuantiosas inversiones y el largo tiempo requerido para llevar adelante tales progresos, hay que contemplar la posibilidad de que no puedan ser alcanzados todos los cambios necesarios. Si todo esto lo unimos a la necesidad de reducir lo que cuesta el asiento por milla para hacer frente a las presiones competitivas y ambientales, puede pasar que el tamaño medio del avión aumente incluso más que lo pronosticado actualmente.

Previsiones del mercado de aeronaves por parte de Boeing y Airbus

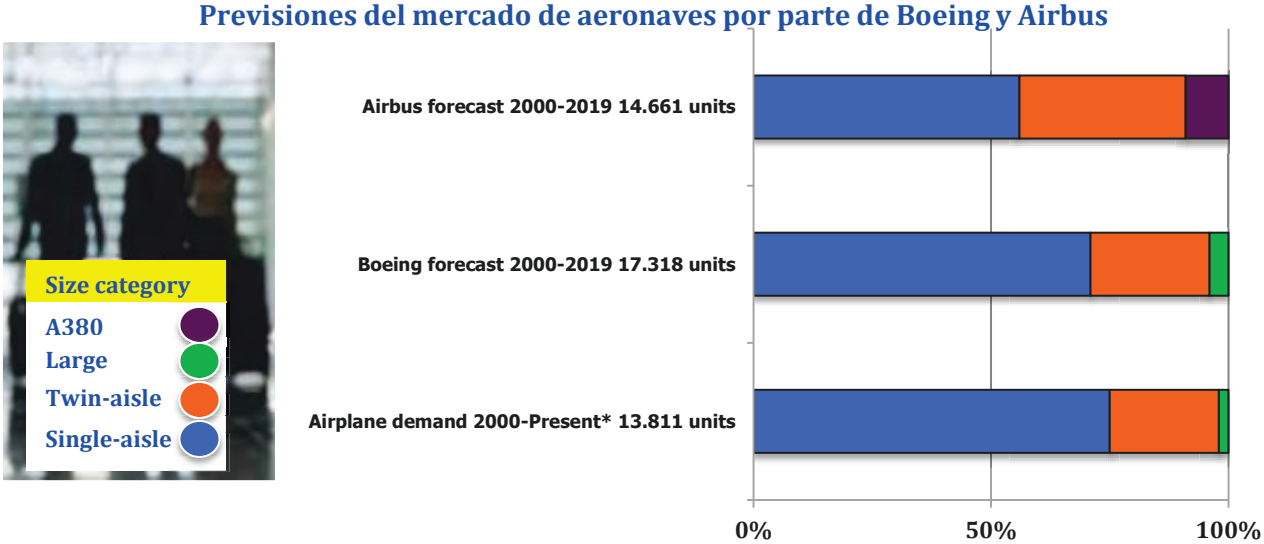


Gráfico 1.3-5 Source: Randy Tinseth. Vice President, Marketing. Boeing Comercial Airplanes. June 2009

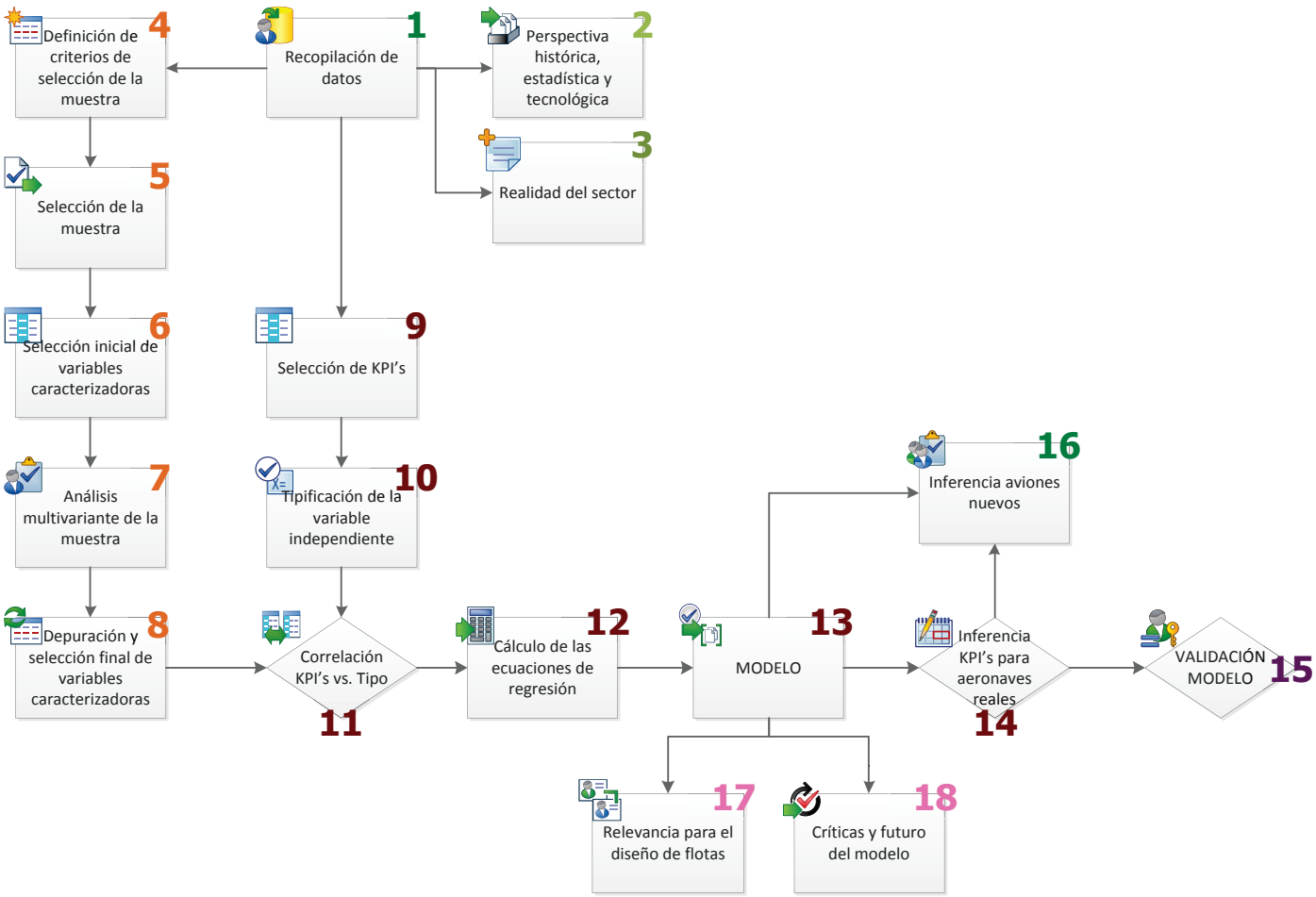
Ante este escenario, parece lógico pensar que cualquier ventaja a la hora de prever los aviones y sus rendimientos futuros, sería una herramienta de gran interés para fabricantes y aerolíneas. Si al final de esta tesis se puede disponer de un modelo contrastado que pueda adelantar a los fabricantes de aeronaves y a las aerolíneas el futuro rendimiento de un avión, sin ni siquiera tener que fabricarlo y/o comprarlo, se estaría proporcionando un valioso medio para la optimización de la inversiones, el diseño de las flotas con mejoras aseguradas de los indicadores clave de rendimiento, la reducción plazos y de costes, focalizando el esfuerzo en los aviones idóneos para el futuro.

1.4. Estructura de la Tesis

Una vez se han definido los objetivos y la necesidad de la investigación, es muy interesante definir cuál es el camino, es decir, cómo se ha planificado y estructurado el estudio.

Este estudio, se ha dividido en cinco partes:

1. **Descripción del escenario que rodea al estudio.**
    a. Perspectiva histórica.
    b. Perspectiva estadística y matemática.
    c. Perspectiva tecnológica.
    d. Realidad del sector.
2. **Definición de las variables caracterizadoras de las aeronaves.**
    a. Definición y justificación de criterios de selección de la muestra.
    b. Selección de la muestra: aviones de pasajeros seleccionados para el estudio.
    c. Selección inicial de los parámetros representativos de las aeronaves.
    d. Análisis multivariante de la muestra.
    e. Depuración de los parámetros y selección de las variables caracterizadoras.
3. **Correlación entre indicadores clave de rendimiento y variables caracterizadoras.**
    a. Definición y justificación de criterios de selección de KPIs.
    b. Justificación de la población seleccionada para el estudio.
    c. Tipificación de la variable independiente: avión tipo anual.
    d. Estudio de la correlación entre KPIs anuales y sus aviones tipo anuales.
4. **Definición y corroboración del modelo.**
    a. Cálculo de la/s ecuación/es de regresión para definir el Modelo.
    b. Inferencia de KPIs para aeronaves reales a partir sus variables caracterizadoras utilizando el Modelo.
    c. Corroboración del Modelo.
5. **Explotación del modelo y mejoras futuras.**
    a. Inferencia de KPIs para aeronaves en proceso de lanzamiento o recién lanzadas a partir sus variables caracterizadoras utilizando el Modelo.
    b. Relevancia del modelo para el diseño de flotas.
    c. Crítica y futuro del modelo.


1
Recopilación de datos
2
Perspectiva histórica, estadística y tecnológica
3
Realidad del sector
4
Definición de criterios de selección de la muestra
5
Selección de la muestra
6
Selección inicial de variables caracterizadoras
7
Análisis multivariante de la muestra
8
Depuración y selección final de variables caracterizadoras
9
Selección de KPI's
10
Tipificación de la variable independiente
11
Correlación KPI's vs. Tipo
12
Cálculo de las ecuaciones de regresión
13
MODELO
14
Inferencia KPI's para aeronaves reales
15
VALIDACIÓN MODELO
16
Inferencia aviones nuevos
17
Relevancia para el diseño de flotas
18
Críticas y futuro del modelo

Capítulo 2

ANTECEDENTES

2.0. Estado del arte. Revisión de la literatura relacionada.

En los próximos apartados de este capítulo se irán introduciendo y revisando los conceptos y antecedentes de los conceptos y áreas de estudio que tienen una clara interacción con lo desarrollado en esta tesis. Se ha considerado que los antecedentes, la literatura previa en este campo, sería de importancia capital para el éxito de esta tesis, como explica Randolph (2009) R[2], ya que una revisión defectuosa de la literatura haría presuponer que el resto de la tesis es del mismo nivel, porque —uninvestigador no puede realizar investigaciones significativas sin entender antes la literatura del campo en el que está investigando" (Boote & Beile, 2005, R[4]). Por ello se desarrollan los diferentes temas intentando dar un enfoque hacia los métodos de la investigación, de manera que permitan identificar las variables clave, las medidas o valores y los métodos de análisis para enfocar la investigación hacia los resultados de la misma, como una de las posibilidades que propone Cooper (1988) R[6].

La revisión de la literatura según Gall, Borg y Gall (1996) R[9], desempeña un papel fundamental para delimitar el problema de la investigación, permitiendo acotar la nueva línea de investigación, evitando enfoques infructuosos y ganando perspectivas metodológicas, pero sobretodo (Hart (1998) R[8]), distinguir lo que se había hecho hasta ahora de lo que se va a hacer, descubrir las variables pertinentes e importantes en el tema y obtener una nueva perspectiva, identificando las principales metodologías y técnicas investigadoras que han venido utilizando.

Definido el enfoque hacia los métodos de la investigación, hay que que el objetivo de esta revisión de la literatura es la identificación de los temas centrales, desde una perspectiva neutral, con una organización conceptual y una cobertura central o fundamental, ya que en ningún caso pretende ser exhaustiva en el campo de estudio.

Desde el inicio se definió el problema o hipótesis y la acotación del campo de estudio a las aeronaves para el transporte de pasajeros. Una vez claro este término se establece el problema, ¿se podrán ligar las características o parámetros constructivos de una aeronave con sus indicadores de rendimiento?, ¿existen estudios en esta dirección?, ¿existe una revisión histórica de las aeronaves relacionada con su rendimiento en la aviación comercial?, ¿hay literatura sobre qué indicadores de rendimiento son más significativos e importantes para las aerolíneas? y ¿cómo y para qué se han venido utilizando estos datos?, ¿qué teorías se han postulado para la explotación de estos estudios?, ¿qué metodología se ha seguido en estos estudios?, todas estas preguntas han dado lugar a los diferentes apartados bajo el epígrafe del capítulo de antecedentes.

Llegado este punto parece lo más correcto empezar con la revisión de la literatura que se ha ido encargando de recoger los avances de las aeronaves en general y las dedicadas al transporte de pasajeros en particular. Conviene destacar que la bibliografía más útil en este apartado hay que utilizarla en forma de catálogo, destacando sin duda alguna el detalle proporcionado por *Jane's All the World's Aircraft* que es una publicación anual de aviación fundada por Fred T. Jane en 1909. Está editada por *Jane's Information Group.* [10]

Jane's All the World's Aircraft ha sido capaz de hacer la crónica de algo más de un siglo de progreso constante en un campo como el de la aviación. Ha registrado un número de detalles sin precedentes, de una variedad también sin precedentes, de máquinas voladoras, en el sentido más amplio de la expresión. Seis editores han tenido el privilegio de emitir comentarios sobre las aeronaves y los eventos de vuelos tripulados más importantes desde que la primera edición apareció en noviembre de 1909 con aeronaves de todo el mundo (Aviones y Dirigibles). Esta publicación ha sido clave en la recopilación de los parámetros de las aeronaves en sus diferentes revisiones desde los años 30. Asimismo ha sido de gran valor informativo el informe *Quest for Performance the Evolution of Modern Aircraft* (1985) I[9], una revisión histórica y exhaustiva de los aviones y sus características, realizada por

Laurence K. Loftin, Jr. de la Office of Policy and Plans – History Office (National Aeronautics and Space Administration – NASA).

Parece evidente que si los dos —catálogos" mencionados en los párrafos anteriores han sido la fuente principal de los datos numéricos, la revisión del histórico de aeronaves va a tener un enfoque teleológico: obtener los parámetros caracterizadores de las aeronaves. Aunque esto implique, de alguna manera, renunciar a la profundización en el estudio de la documentación sobre la historia de las aeronaves de pasajeros más narrativa y menos cuantitativa, en beneficio de la obtención de un mayor número de datos precisos sobre las aeronaves que faciliten el estudio tal y como se ha definido. Por todo ello, y en coherencia a lo ya comentado, se recuerda que esta revisión bibliográfica se orienta a los fines y no pretende ser exhaustiva.

No obstante los aportes históricos de trabajos como los de Bayne y López para el Smithsonian (1979)[15], Anderson Jr. (2002)[14] y su viaje por la historia de la aviación y su tecnología, Gibs-Smith (1965-1967-1970)[19][20][21] y sus tres monografías que narran la historia desde la invención del aeroplano hasta los embriones de los viajes espaciales, las reflexiones sobre los aviones con motores a reacción vistos con la perspectiva del momento de su irrupción de Green y Cross (1955)[22], Gunston (1992)[23] y su crónica sobre la aviación, Heppenheimer (2001)[24] que se remonta a los vuelos en globo y dirigible, Miller (1993)[25] que narra la historia de los pioneros y los primeros 50 años de la aviación, Naylor (1965)[26] y Schatzberg (1999)[27] que fijan el foco de su trabajos en el desarrollo tecnológico dentro de la evolución histórica del sector o Taylor (1975)[28] y Chant (1978)[18] en su ortodoxa historia narrativa e ilustrada de la aviación, han sido de gran utilidad para no obviar ninguna aeronave en la confección de la lista histórica estudiada, así como para facilitar su ubicación temporal con precisión y el conocimiento de su relevancia.

Pero dado el contexto de aeronaves de pasajeros y que la muestra de estudio se ha limitado a los datos de las aerolíneas norteamericanas, sería imperdonable no destacar la monografía de Bilstein (1989)[16] que narra el desarrollo de la aviación en América entre los años 1900 y 1983 y especialmente el libro de Whitford (2007)[33], en el que narra detalladamente la evolución de las aeronaves y se centra en las aeronaves de pasajeros, objeto de este estudio[1].

[1] *Todas las referencias bibliográficas de monografías entre la [14] y la [34], están es el contexto narrativo de historia de la aviación.*

La segunda cuestión que la revisión bibliográfica debe definir es si la metodología seleccionada ha sido, es y/o puede ser utilizada en investigaciones como la propuesta en el marco de esta tesis. Para ello se dispone una revisión de la literatura que utiliza la estadística multivariante y los modelos matemáticos aplicados, en este caso econométricos, ya que metodológicamente esa será la base de la presente tesis.

Este estudio de la literatura sobre la metodología empieza por una revisión de los conceptos estadísticos susceptibles de ser utilizados y la doctrina que los resume de manera académica. En el marco de la revisión bibliográfica, hay que destacar las monografías, ampliamente utilizadas en la docencia, como la de Hair (1999)[1], que ha proporcionado la visión multivariable como una posibilidad del estudio multivariante o la de Peña (2005)[5], para el tratamiento vectorial de las múltiples variables de un individuo, en nuestro caso una aeronave. Asimismo, la econometría suministrará la metodología para llegar desde la hipótesis hasta su prueba, así como los métodos de pronóstico, predicción y aplicaciones del modelo, como desarrollan en sus monografías generales sobre econometría Wooldridge (2001)[2] y Gujarati (2004)[3] o ya con aplicaciones a la industria de las aerolíneas como lo hacen los hermanos Abdelghany (2004)[4] en una monografía dedicada por completo a la —Modelización de aplicaciones en la industria de las aerolíneas", donde la estadística multivariante se mezcla con la modelización matemática para crear modelos de previsión de la demanda específicos para el transporte aéreo, asignación de flotas, optimización de rutas de las aeronaves, planificación de tripulaciones, gestión de los equipajes, planificación de vuelos y combustible, gestión de los ingresos con modelos de optimización y control de los inventarios de asientos o de los retrasos y el overbooking[2].

Los métodos cuantitativos dentro del campo econométrico y el entorno de la industria de las aerolíneas, han sido utilizados anteriormente para conseguir índices y costes de productividad agregados por Oum and Yu (1998) [7]. Estos métodos se hicieron muy populares y algunos como el Modelo para calcular el Factor de Productividad Parcial (PFP-Partial Factor Productivity) y Total (TFP-Total Factor Productivity), fueron de nuevo utilizados en estudios como el de Tsoulas (2007) T[5] sobre la convergencia de los costes unitarios y la productividad en la industria de las aerolíneas en el mercado norteamericano, en una disertación dirigida por el Dr. Peter Belobaba del MIT.

[2] *Este caso se da cuando han sido reservados más asientos en un vuelo que asientos admisibles había para la venta. (Passenger glossary of terms – IATA)*

El propio Dr. Belobaba (2009)[6], importantísimo experto en este campo y *"Principal Research Scientist of Massachusetts Institute of Technology's Department of Aeronautics and Astronautics"*, utiliza la modelización matemática en una indispensable monografía que además de repasar globalmente la Industria de las Aerolíneas, su historia, sus procesos, la estructura de sus costes y sus mercados, en el marco de los métodos cuantitativos explica modelos para previsión de la demanda, métodos de optimización para los ingresos derivados de los vuelos, gestión de ingresos de la red de rutas ofrecida por una compañía, métodos de planificación de flotas (descritos en el apartado 2.7 de este capítulo) y un capítulo extraordinariamente interesante sobre la optimización de la planificación de una aerolínea, en el que el objetivo es modelizar para optimizar, compartiendo la metodología propuesta para esta tesis.

Modelos de programación matemática para control del inventario de asientos de la aerolínea que proporcionan límites de reserva y precios de oferta para los itinerarios y la proporción de asientos por clases en el vuelo, fueron desarrollados en tesis doctorales como la de E.L. Williamson (1992)T[7] (*Control del inventario de los asientos de toda la red de una aerolínea: metodologías e ingresos impactos*), en la que encontró que los métodos de aproximación determinista simples que se basan en promedios de demanda a menudo se apoyan en la heurística y consideran varios trayectos y clases (ODF: origin-destination and fare class) que configuran una metodología más avanzada que la probabilística. Sanne V. de Boer, Richard Freling y Nanda Piersma, en su artículo *"Mathematical programming for network revenue management revisited"* R[10] sostienen que este fenómeno se debe a que el proceso incluye la jerarquización de las clases de tarifa, pero que a menudo es ignorado en la fase de modelado. Las diferencias en el rendimiento entre estas aproximaciones se estudian utilizando un modelo estocástico de programación que incluye el modelo determinista como un caso especial.

Pero si algo preocupa en cualquier ámbito empresarial es el rendimiento, por ello y dentro de la revisión de la literatura hay que destacar el estudio realizado como tesis doctoral por Zhihang Chi (1995) T[1] titulado *"Airline Yield[3] Management in a Dynamic Network Environment"*, en el que propone modelos y algoritmos para casos estáticos y dinámicos de un solo trayecto (single-leg[4]) y los casos estáticos y dinámicos de toda la red.

---

[3] *Rendimiento económico, medida de la tarifa media pagada por milla y por pasajero.*

[4] *Las operaciones entre una estación de partida y la próxima estación de llegada. (Passenger glossary of terms – IATA)*

La aplicación de la estadística a las numerosas bases de datos manejadas por las aerolíneas como el Form 41, informe del Departamento de Transportes de los Estados Unidos (DOT – Department of Transportation) o las recopiladas por las Asociaciones de Aerolíneas como ATA e IATA, ha dado lugar a una innumerable lista de trabajos, tesis y monografías, difícil de enumerar en esta revisión bibliográfica. En la línea de buscar los objetivos y no la descripción exhaustiva, se han querido destacar dos trabajos y una monografía más, el motivo no es otro que la consideración de su relevancia en algunos de los apartados de este y otros capítulos de la tesis. Por un lado el trabajo de Barth (1990) T[2], que utiliza modelos econométricos para evidenciar que la competencia de las tarifas de las aerolíneas no es tal y que funcionan como un oligopolio coordinado, se basa en la aplicación de un modelo econométrico para realizar un análisis en el mercado del transporte aéreo de pasajeros. Por otro lado el artículo publicado en Journal of Econometrics por Sickles (1985) R[11], en el que describe un modelo no lineal que relaciona la tecnología y el crecimiento del factor productividad utilizando el modelo para analizar un panel de dieciséis compañías nacionales en la industria de aerolíneas de Estados Unidos sobre 35 cuatrimestres de 1970.I a 1978.III. Consiguiendo las ecuaciones para la construcción de las superficies que representan a la producción que está implicada en la función utilizada en el análisis de costes. Este estudio es el primero en estimar el error general multivariante no lineal de los componentes del modelo usando para ello información completa y probabilidad máxima.

Respecto a las monografías, hay que destacar el uso de modelos matemáticos en *Buying The Big Jets* de Clark (2007) [35], en el que desarrolla la aplicación de la modelización, ya utilizada por otros autores para pronosticar la demanda o el diseño de flotas, en el estudio de la compra de aeronaves de gran tamaño. Es decir introduce el tamaño, característica constructiva de la aeronave, en relación con el rendimiento; aspecto de gran interés para los fines de este estudio.

Revisada la literatura metodológica, otro de los puntos fundamentales a la hora de definir las variables pertinentes del estudio, sería revisar lo escrito sobre ellas. Enfocando la revisión de la literatura hacia los resultados no se puede olvidar que esta tesis tiene como objetivo unir dos universos en apariencia muy diferenciados, el universo de las características constructivas de las aeronaves a lo largo del tiempo y el de los rendimientos de su explotación por parte de las aerolíneas. Esto proporciona dos grupos de variables

totalmente diferenciados, uno tecnológico de diseño y construcción de los aviones y el otro el de los indicadores de rendimiento, costes y productividad de las aerolíneas.

El primer universo de variables ha quedado definido por la literatura revisada para entender la historia de la evolución tecnológica de la aviación. Al revisar los avances de las aeronaves en general, y las dedicadas al transporte de pasajeros en particular, se han utilizado los informes, catálogos y monografías descritas para obtener una lista de aeronaves relevantes en el desarrollo del transporte de pasajeros con sus características constructivas al completo. La discriminación de cuáles de estas características deben ser un parámetro relevante para este estudio tiene que ver con criterios de diferenciación entre aeronaves, criterios de eliminación de redundancias, combinaciones o duplicidades y criterios relacionados con los parámetros significativos en el diseño de flotas utilizados por las aerolíneas. Todo ello queda plenamente cubierto con la literatura detallada para el estudio histórico.

El segundo universo es distinto, su análisis tiene que ver por un lado con anuarios y bases de datos históricos de asociaciones de líneas aéreas como IATA (International Air Transport Association), ATA (Air Transport Association of America, Inc.), U.S. DOT (Unites States Department of Transportation), etc., y por el otro, con la explotación de estos históricos propuesta por estudiosos de todo el mundo en la materia. Por ello existen dos caminos para revisar la literatura, uno va desde lo concreto a lo abstracto y el otro de lo abstracto a lo concreto. Entendiendo por abstracto la doctrina sobre indicadores de rendimiento de las compañías: ¿cuáles?, ¿qué miden?, ¿por qué se usan unos y no otros? o su relación con variables exógenas; de aquí nacen teorías, trabajos y tesis que configuran la literatura documentada por escritores e investigadores en la materia, muchos de los cuales se han relacionado en la revisión de la literatura en relación con la metodología. Y entendiendo a su vez por concreto, las bases de datos reales con datos históricos de estos indicadores estudiados en la doctrina, bases de datos barajadas por las asociaciones de aerolíneas confeccionadas por datos suministrados por las propias aerolíneas y que son el fundamento de muchos análisis y decisiones, siendo referencia continua de las aerolíneas para planificar y revisar sus estrategias.

Como en el caso de la revisión histórica, en un contexto teleológico, el camino debe ser desde lo concreto a lo abstracto. Si se parte de los datos que realmente están siendo

suministrados y utilizados, se puede focalizar la revisión de la doctrina a los trabajos más relevantes y de mayor interacción tanto con los indicadores, como con el estudio desarrollado en esta tesis.

La principales bases de datos utilizadas como histórico estadístico han sido los anuarios de la ATA (Air Transport Association of America, Inc.) desde 1937 a 2012 I[13], el U.S. DOT Form 41 I[12] y WATS - World Air Transport Statistics 10 year traffics results de IATA (International Air Transport Association) I[11], de ellas y de la literatura relacionada se han entresacado los indicadores de rendimiento utilizados en el marco de la investigación. Ha sido sencillo determinar los que coincidían en todas las fuentes y se ha podido comprobar que salvo algún estudio más particular eran los que han utilizado los autores y estudiosos en la materia.

En cada uno de los apartados de este capítulo, incluso en esta revisión general que ha constituido el apartado cero, se han ido referenciado los documentos y fuentes consultadas y utilizadas, completando una revisión detallada de principios, metodología, objetivos y aplicaciones, así como las fuentes más influyentes de todas las consultadas y que se pueden ver en la bibliografía.

Para terminar, se ha creído pertinente renunciar al término validación o verificación de la hipótesis y del modelo, usando en su lugar el concepto de –corroboración", ya que se ha tenido en consideración la corriente epistemológica encabezada por el filósofo austriaco Karl Popper (1902-1994) [36], en la cual, se considera que las hipótesis no se pueden validar, se pueden corroborar. Popper en realidad rechaza el verificacionismo como método de validación de teorías. Por muchos millones de cuervos negros que se vean, no será posible afirmar que «todos los cuervos son negros». En cambio, basta encontrar un solo cuervo que no sea negro para poder afirmar: «No todos los cuervos son negros»[5]. Para Popper ni existen puntos de partida incuestionables ni la racionalidad científica los requiere. Popper propone un método científico de conjetura por el cual se deducen las consecuencias observables y se ponen a prueba. Si falla la consecuencia, la hipótesis queda refutada y debe entonces rechazarse. En caso contrario, si todo es comprobado, se repite el proceso considerando otras consecuencias deducibles.

[5] *«No todos los cuervos son negros», de Miguel A. Schmucke P. E[15]*

Cuando una hipótesis ha sobrevivido a diversos intentos de refutación se dice que está corroborada, pero esto no nos permite afirmar que ha quedado confirmada definitivamente, sino sólo provisionalmente, por la evidencia empírica.

A partir de aquí Popper enuncia el concepto de hipótesis falsables, entendiendo que aquellas que no lo son no pueden considerarse científicas. Una hipótesis es falsable si existe un enunciado observacional (o un conjunto de enunciados observacionales), lógicamente posibles, que sean incompatibles con ella, esto es: que en caso de ser establecidos como verdaderos, refutarían tal propuesta.

Desde este punto de vista, las hipótesis y modelos aquí relacionados, son falsables, y se aspira a corroborarlos o falsarlos dentro de esta misma tesis.

2.1. Perspectiva histórica de la aviación comercial

La aviación comercial es la única red de transporte auténticamente global, es la única que opera a lo largo de todo el planeta y ha tenido un papel protagonista en el desarrollo mundial y en la interactividad de la economía, la globalización de los negocios y la eclosión del turismo como agente vital en el crecimiento económico mundial. El transporte aéreo se convierte en uno de los servicios prestados más importantes, porque ofrece a partes iguales beneficios sociales y económicos. Por un lado, a través del turismo y del comercio contribuye al crecimiento económico, crea puestos de trabajo e incrementa los ingresos por impuestos y es esencial para el desplazamiento rápido de personas y carga alrededor del mundo; por el otro, nos proporciona calidad de vida a través del abanico cultural y de ocio que nos brinda, además de unirnos con amigos, familiares y otros seres queridos de una manera que hasta ahora no había sido posible. Como dice Whitford (2007) [33], las aerolíneas han recorrido un largo camino y hoy son una industria con continuas innovaciones que ha desarrollado aeronaves para volar más alto, más rápido, y más eficientemente, y volar ha llegado a ser cada vez más confortable y más barato.

La propia industria de las aerolíneas es, en sí misma, una importante fuerza económica, tanto en términos de sus propias operaciones, como en el de sus impactos sobre la industria de fabricación de aviones y sobre el turismo. En 2010, los 539 mil millones de dólares ($539 billion) de volumen, habrían llevado al transporte aéreo, si fuera un país, al decimonoveno lugar entre los de mayor PIB (Producto interior bruto), equivalente aproximadamente a Suiza o Polonia (IATA-2012 I[14]). Pocas industrias generan en cantidad y en intensidad la atención que se presta a las compañías aéreas. Una atención prestada, no sólo por aquellos que participan directamente en sus operaciones, sino también por los gobernantes, las noticias en los medios de comunicación y evidentemente por sus miles de millones de usuarios *(en 2011, la aviación comercial ha transportado con seguridad a unos 2.800 millones de pasajeros (2,8 billion passengers) y 48 millones de toneladas en carga, manteniendo 56,6 millones de puestos de trabajo y 2,2 billones de dólares ($2.2 trillion) de actividad económica si se incluye el turismo)* (IATA-2012 I[14]); lo que hace que, casi cualquier persona, tiene al menos una anécdota que contar sobre una inusual, buena o mala experiencia en un viaje en avión.

Como es lógico, no siempre fue así, aunque la relevancia actual sea evidente, en sus orígenes, la contribución del transporte aéreo al transporte global de personas, correo y mercancías era puramente testimonial.

La primera línea aérea del mundo se creó en enero de 1914 entre las ciudades de St. Petersburg y Tampa, separadas por 32 km. El viaje con el hidroavión Benoist duraba sólo 20 minutos, muy poco en comparación con las dos horas que tardaba un coche. No obstante, los pequeños Benoist sólo podían llevar al piloto y a un pasajero. En 1914, cuando la mayor parte del mundo estaba preocupada por la Primera Guerra Mundial, pasó desapercibida la noticia de que por unos 5$ de la época, un pasajero que no pasara de 200 libras de carga, podía comprar un billete de ida para volar en cabina abierta a través de la bahía de Tampa en Estados Unidos. Dándose como curiosidad que mientras los trabajos en tierra llevaron toda una jornada el vuelo que unió Tampa y St. Petersburg apenas duró 20 minutos. El 1 de enero de 1914, el alcalde de St. Petersburg fue el primer pasajero de la primera línea regular en los Estados Unidos. Ese maravilloso y visionario delirio fue financiado por P. E. Fansler y pilotado por Tony Janus que consiguieron doblar sus operaciones en cuatro meses en medio de grandes apuros financieros. Fue el humilde principio de un gigante que cumple 100 años, el transporte aéreo comercial de pasajeros.

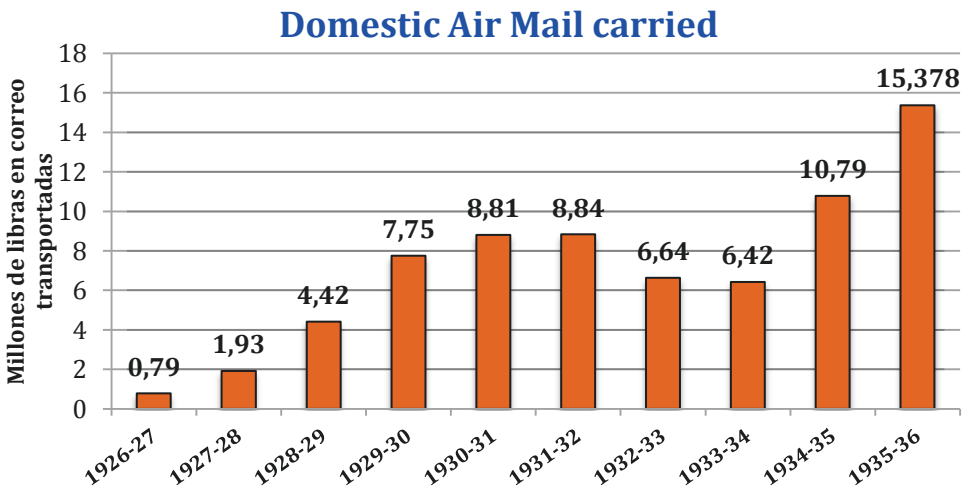


Gráfico 2.1-1

Fuente: ATA - Little Known Facts -1937

En los primeros años, fue el Departamento de Correos de los Estados Unidos de América (Post Office Department), quien percibió mayores ventajas en el transporte aéreo y quien realizó diferentes tentativas para apropiarse de una manera federal del transporte del correo por aire. Pero hasta 1916, el Congreso norteamericano no destinó fondos para el

establecimiento de diferentes rutas aéreas para el correo (air-mail routes); estableció varias con Alaska, además de a New Bedford, Massachusetts y Pawtucket, Rhode Island.

El desarrollo de un gran bombardero durante la Primera Guerra Mundial demostró que un aeroplano podía usarse como un medio rápido de transporte de manera comercial y postal. En 1918, el Congreso norteamericano destina 100.000 $ del presupuesto de ―The Post Office Department" para el desarrollo de un servicio experimental de transporte del correo por vía aérea y para la compra, operación y mantenimiento de los referidos aviones por el mencionado organismo de correos. Desde este momento se puede decir que nació la industria del transporte aéreo.

El verdadero nacimiento de la aviación comercial tuvo lugar después de la Primera Guerra Mundial. En este período, la potencia de los motores de los aviones se llegó a triplicar. Europa vivió un notable incremento de compañías que ofrecían vuelos comerciales, la mayoría de ellos a través del canal de la Mancha. La primera aerolínea, Aircraft Transport and Travel Ltd. fue registrada en el Reino Unido por George Holt Thomas en octubre de 1916, e inauguró su primer servicio de pasajeros en Agosto de 1919. Los vuelos de Londres a París con la compañía de Thomas se convirtieron en la primera línea regular de la posguerra. Para realizar este servicio se empleó un antiguo avión militar, el De Havilland DH.4A. A esta compañía le siguieron muchas otras: en el Reino Unido, Handley Page Transport; en Francia, Compagnie des Messageries Aériennes y Compagnie des Grands Express Aériens. En Europa se produjo un hecho curioso, llegó a haber casi más aerolíneas que viajeros potenciales. Muchas de ellas quebraron, pero otras se fusionaron y formaron grandes compañías aéreas, como la británica Imperial Airways, la francesa Air France, la alemana Deutsche Luftansa, la holandesa KLM o la belga Sabena.

Pero cuando se observa un crecimiento y una significación fuera de toda duda es a partir de 1925, entrando en una década en la que, sólo en Estados Unidos, se multiplican por ocho las millas en rutas regulares para el correo transportado en avión y por más de 20 las libras de correo transportadas. (Gráficos 2.1-1 y 2.1-2).

Según se observa en los informes anuales de las asociaciones de las propias aerolíneas el tamaño de la industria no deja de crecer ni en Estados Unidos ni en Europa, como máximos representantes del mundo desarrollado.

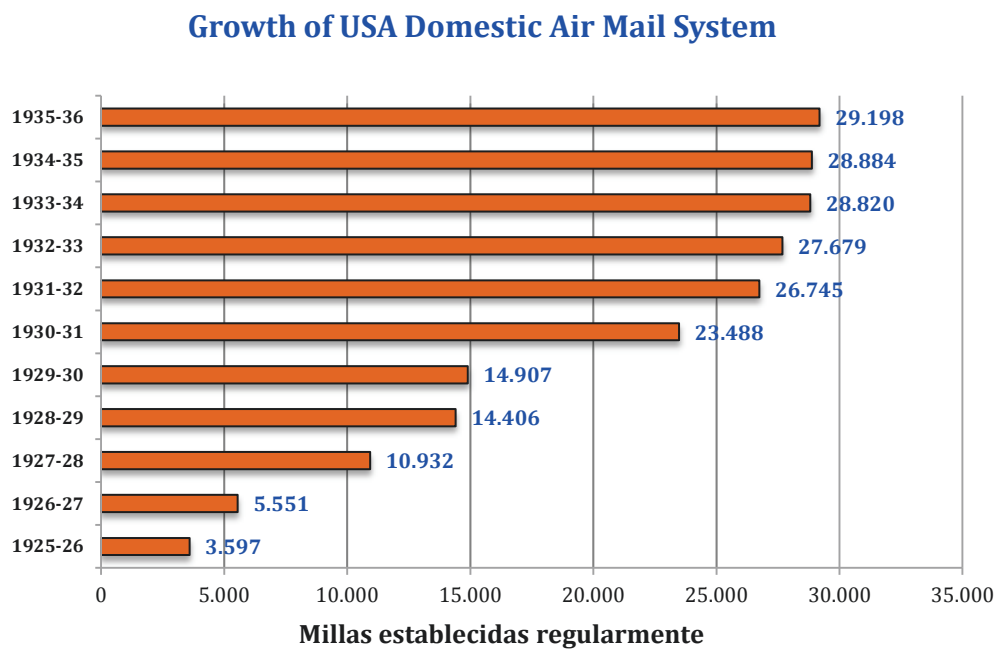


Gráfico 2.1-2

Fuente: ATA - Little Known Facts -1937

Todo esto, con el hándicap de que en los primeros años no son pocos los inconvenientes para el desarrollo de la industria del transporte aéreo, que secuencialmente se tiene que enfrentar, además de a los problemas propios, a la Primera Guerra Mundial, el Crack de 1929 con la terrible crisis económico financiera posterior y a la Segunda Guerra Mundial.

Como es lógico la industria del transporte aéreo no fue ajena a estos contratiempos ni a todas estas limitaciones, pero después de cada una de ellas salió reforzada y con nuevos bríos, como demuestran las cifras de negocio y los comentarios de sus protagonistas.

AIR TRANSPORT PROGRESS

Comparison of air transport data of U.S. Domestic, Foreign and Overseas Air Services of 1930 with preliminary figures for 1936

	1.930	1.936	% 36 vs. 30	
Miles Flown	36.945.203	72.000.000	194,88%	x 2
Pounds of express and freight carried	468.571	9.000.000	1920,73%	x 20
Pounds of mail carried	8.513.675	17.100.000	200,85%	x 2
Passengers carried	417.505	1.140.000	273,05%	x 2,7
Passengers-miles flown	103.747.249	480.000.000	462,66%	x 4,6
COST, one pound of air express, New York - San Francisco	$2,60	$1,00	38,46%	3/8
COST, passenger fare, New York - San Francisco	$259,50	$160,00	61,66%	5/8

Tabla 2.1-1. Progreso del tráfico aéreo en Estados Unidos (1930-1936)
Fuente: Air Transport Association of America (ATA) – Enero (1937)

En el boletín de la Air Transportation Association of America (ATA), del año 1937, su presidente Edgard S. Gorrell mostraba su orgullo y resaltaba que predecir el futuro del transporte aéreo no era para profetas, era tarea para personas con coraje: —En sólo 10 cortos años el crecimiento en adaptabilidad y utilidad popular ha sido increíble". Y como se puede comprobar en la tabla 2.1-1, los datos eran espectaculares con crecimientos espectaculares y bajadas de precio muy relevantes en momentos no especialmente propicios.

Terminada la Segunda Guerra Mundial, la industria aeronáutica civil experimentó cambios sustanciales: los motores a reacción aumentaron la eficacia de los nuevos aviones y redujeron a la mitad la duración de los vuelos. La era comenzó con el Constellation (500 km/h) y culminó con el Concorde (2.000 km/h). La guerra cambió la imagen de la aviación. Los miles de pilotos que sirvieron en las fuerzas aéreas durante el conflicto y los millones de personas que vieron pasar los aviones sobre sus cabezas contribuyeron a difuminar el miedo y las dudas existentes hasta entonces.

Ilustración 2.1-1 Diferentes fabricantes aeronáuticos de la época

La aplicación más frecuente de la tecnología militar a la aviación civil se produjo en Estados Unidos. Los conocimientos y la experiencia acumulados en la producción de bombarderos de gran radio de acción como el Boeing B-29, con su cabina presurizada y sus potentes motores, resultaron fundamentales para su posterior aplicación comercial en la inmediata

posguerra. Los primeros años de la posguerra fueron la época dorada del avión civil con motor convencional de pistones. En 1946, TWA (Trans World Airlines) recibió los primeros Lockheed Constellation y Boeing comenzó a desplegar su modelo 377 Stratocruiser, que era una versión renovada del B-29. Pan American y TWA inauguraron servicios transatlánticos con aviones Constellation en febrero de 1946 en el Reino Unido. Las últimas versiones de éste y del nuevo Douglas DC-7 eran excelentes; no obstante, se estaba acabando su protagonismo, representaron el principio del fin de los aviones civiles con motor de pistones, ya que los fabricantes y los pasajeros exigían cada vez más de los aviones, y el rendimiento de éstos ya no podía superarse con la tecnología existente.

Los aviones alemanes y británicos habían demostrado durante la guerra las ventajas de la tecnología del motor a reacción, por ello, los fabricantes de aviones comerciales no tardaron en incorporarla. En este sentido De Havilland dio un gran salto al presentar el prototipo de reactor DH.106 Comet el 27 de julio de 1949. El 2 de mayo de 1952, BOAC (British Overseas Airways Corporation) inauguró su servicio con el Comet entre Londres y Johannesburgo. Gracias a sus 725 km/h de velocidad se redujo a la mitad la duración del vuelo y la empresa obtuvo un beneficio neto desde el primer año de utilización. El desastre llegó en 1954 cuando tres aviones de este modelo –Comet" se estrellaron a causa de la fatiga del metal. De Havilland había demostrado que el futuro de la aviación civil pertenecía a los reactores, retando así a la competencia americana. La respuesta no se hizo esperar: el 15 de julio de 1954 Boeing presentó el B707, el primer reactor civil estadounidense, que se vendió en grandes cantidades por todo el mundo. Contando las versiones militares se construyeron 878 unidades del B707 y 154 del B720, una variante del B707 más corta y ligera.

Cabe destacar que a finales de la década de los 40 apareció en el Reino Unido una novedad mundial: Le Vickers Viscount, el primer avión turbohélice civil. Su ventaja era que tenía mayor rendimiento que un motor convencional de pistones y menor consumo que un reactor a bajas velocidades.

En Estados Unidos, no obstante, la impresión causada por los turbohélices civiles británicos no fue suficiente como para que desafiaran a Vickers y Bristol. Sus tres grandes fabricantes (Boeing, Douglas y Lockheed) desarrollaron varias configuraciones de reactores de dos y tres motores a finales de la década de 1950 y principios de la de 1960. Un buen ejemplo es el éxito que tuvo el B727. Después llegó el conocido como «Baby Boeing», el modelo de

corto alcance B737 que realizó su primer vuelo el 9 de abril de 1967. La versión original entró en servicio con Lufthansa en febrero de 1968, mientras que una versión «alargada» de 150 plazas apareció seis meses más tarde. Gracias a su poco peso y, por consiguiente, a su bajo consumo de combustible (sólo 0,034 litros por asiento y kilómetro), el B737 fue todo un éxito. El primer reactor del mundo de fuselaje ancho no tardó en llegar: el Boeing 747 «Jumbo». El 9 de febrero de 1969 fue presentado oficialmente al público en el Salón Aeronáutico de París.

Para competir con el Boeing 747, Douglas y Lockheed empezaron a producir sus primeros aviones de fuselaje ancho. El Douglas DC-10 y el Lockheed L-1011 Tristar se desarrollaron a partir de un encargo de American Airlines. El DC-10 realizó su primer vuelo en agosto de 1970, tres meses antes que el Tristar. Las principales compañías estadounidenses dudaron entre ambos, pero el poco tiempo que transcurrió desde el inicio del programa del DC-10 hasta su primer vuelo hizo tomar la decisión. El primer servicio de American Airlines con DC-10 se inauguró en agosto de 1971.

Boeing continuó ampliando su gama de aviones civiles. En abril de 1978, United Airlines efectuó un encargo que supondría la aparición de un nuevo modelo: el Boeing 767. Este avión con capacidad para 350 pasajeros y del que se construyeron seis variantes, con un total de 851 unidades, realizó su primer vuelo con United Airlines el 8 de septiembre de 1982. Le siguió en 1983 el Boeing 757, de dimensiones más reducidas (289 plazas). Este reactor de medio alcance presenta los costes de explotación más bajos de entre todos los aviones comerciales de su clase. El último avión de pasajeros lanzado por Boeing, que se va a considerar en esta tesis, es el B777, un modelo de largo radio de alcance con el que se propone rellenar el vacío existente entre el B747 y el B767. El primer servicio con un B777, fue efectuado por United Airlines entre Londres y Washington el 7 de junio de 1995. No se han considerado en esta tesis los modelos posteriores, al igual que los últimos modelos de Airbus tampoco se han incluido, por su falta de historia, y por ello sin influencia en los datos estadísticos manejados. No obstante alguno de ellos se utilizará para corroborar o refutar la validez de los resultados de esta tesis.

No nos podemos olvidar de los aviones fabricados en Europa, ya que aun habiendo aparecido más tarde que los americanos, son su mayor y principal competencia. Airbus es un conglomerado de fabricantes europeos constituido por Aérospatiale, Deutsche Airbus,

CASA y British Aerospace. El primer Airbus fue el A300 (361 plazas), que llevó a cabo su vuelo inaugural el 28 de octubre de 1972. Durante los siguientes treinta años, Airbus se ha hecho con un importante segmento en el mercado de los aviones comerciales de corto y medio alcance, con más de 2.000 aparatos de esta clase vendidos en todo el mundo. Con una tecnología avanzada, el Airbus A320 fue el primer avión comercial de pasajeros en emplear el sistema de pilotaje electrónico, en el que no existe ninguna conexión directa entre los controles de la cabina de mando y los deflectores y el timón del aeroplano. En su lugar, las instrucciones del piloto se transmiten a un sistema de control que convierte la señal en acción. Tras haber vendido hasta el año 2002 alrededor de 2.500 aviones, el mayor logro de Airbus ha sido diseñar aviones capaces de competir con la élite de los fabricantes estadounidenses. El A330 y el A340 fueron lanzados al mismo tiempo, el 5 de junio 1987. El A340 realizó vuelos de prueba a finales de 1991 y principios de 1992 antes de que entraran en servicio con Lufthansa en enero de 1993 las variantes A340-200 y A340-300. El A330 experimentó con los motores General Electric y Rolls-Royce desde noviembre de 1992 antes de entrar en servicio con Air Inter, en enero de 1994. En los primeros años del siglo XXI, Airbus ha logrado que Boeing deba replantearse su política de diseños, incluso se puede decir que le ha tomado la iniciativa en un segmento como los VLA (Very Large Aircraft), dominada por Boeing desde el lanzamiento del B747.

LA RUPTURA DE LA BARRERA DEL SONIDO

Aunque su verdadero objetivo y rendimiento se ha focalizado en el entorno militar y el ámbito de esta tesis es la aviación civil, no sería razonable obviarlo en esta fase de acercamiento histórico.

Los primeros experimentos serios con los vuelos supersónicos se remontan a 1943, año en que el gobierno británico emitió la disposición E.24/43 para producir un «avión transónico» capaz de alcanzar una velocidad 1,5 veces superior a la del sonido, alcanzando unos 1.060 km/h. Cuando el avión (el Miles M.52) estaba casi terminado, el programa fue cancelado. El primero en romper la barrera del sonido en vuelo horizontal fue el estadounidense Chuck Yeager, quien el 14 de octubre de 1947 alcanzó la velocidad Mach 1.06 con el Bell X-l. En febrero de 1948, el Douglas D-558-2 Skyrocket logró el Mach 2. El primer vuelo supersónico de un aparato británico se produjo el 6 de septiembre de 1948, día en que John Derry alcanzó los 1.127 km/h en un picado entre los 12.200 y los 9.000 m con un avión de alas en flecha De Havilland DH.108 Swallow.

El concepto de avión supersónico civil (SST-Supersonic Transport)[37] surgió hacia la década de 1950. Pese a perder la supremacía en los vuelos supersónicos en favor de Estados Unidos, el Reino Unido continuó liderando la investigación y en 1956 creó el Comité Consultor para el Transporte Supersónico (STAC). Para la velocidad perseguida (Mach 2), el mejor diseño del ala era el de una flecha muy pronunciada; no obstante, para el control a altitudes bajas se requería un borde de salida recto. El ala en delta era la solución natural. Tres de los principales impulsores del STAC (Bristol, English Electric y Vickers) se fusionaron en 1960 en la British Aircraft Corporation (BAC). Se instó a todos los fabricantes a presentar diseños. A principios de 1961 se presentaron los diseños del BAC 223 (125 plazas) y del Super Caravelle de Sud-Aviation (70-80 plazas). Los dos modelos eran muy parecidos en todos los aspectos. En junio de 1961, BAC y Sud-Aviation iniciaron conversaciones con vistas a una posible colaboración. El acuerdo formal tuvo lugar el 29 de noviembre de 1962 y condujo en último término a la fabricación del Concorde.

El primer prototipo franco-británico, el Concordé 001, se presentó en las instalaciones de Aérospatiale de Toulouse, el 11 de diciembre de 1967. El primer vuelo tuvo lugar el 2 de marzo de 1969, alcanzando Mach 1 el 1 de octubre de 1969 y Mach 2 el 4 de noviembre de 1970. Su velocidad máxima fue Mach 2.05 (2.179 km/h) a 17.500 m de altitud. Tras un espectacular accidente en Francia, en julio de 2000, todos los Concorde fueron retirados para incorporarles nuevas medidas de seguridad. Los vuelos se reanudaron en noviembre de 2001; sin embargo, el 10 de abril de 2003 se anunció su retiro definitivo, fechado en octubre de aquel mismo año, aunque, Air France dejó de prestar servicio con el Concorde el 31 de mayo.

LA LIBERALIZACIÓN DEL ESPACIO AÉREO

Tras el final de la II Guerra Mundial, el transporte aéreo tuvo un crecimiento sostenido. La puesta en marcha de las normas aprobadas por la IATA y los convenios internacionales de Chicago firmados en 1944 regularon el tráfico de aeronaves en los mercados de todo el mundo. Los acuerdos de mayor relevancia se centraron en dos puntos: la reserva del tráfico aéreo interior a operadores nacionales y la concesión del monopolio del transporte aéreo internacional a compañías de bandera o designadas. En virtud de las regulaciones implantadas, las empresas que aparecieron fueron en mayoritariamente estatales y en sus respectivos mercados nacionales operaron en régimen de monopolio. En lo que se refiere al tráfico internacional, las aerolíneas de bandera, llamadas así por su asimilación estatal,

establecieron acuerdos bilaterales con las empresas aéreas designadas por otros países para realizar el tráfico.

El turismo mantuvo un crecimiento sostenido, obligando a modificar una parte de las condiciones bajo las cuales operaba el mercado aéreo internacional de pasajeros. A comienzos de la década de los 50 se experimentaron movimientos en el seno de la IATA por parte de algunas aerolíneas para disminuir tarifas, especialmente en el ámbito del Atlántico Norte -el mayor mercado- a consecuencia de la presión de las agencias de viajes en Estados Unidos y de las de los países del norte de Europa. La consecuencia fue la firma de los Acuerdos de París, rubricados en abril de 1956, a raíz de los cuales nacieron los vuelos a la demanda o charter. Estos acuerdos permitieron a las empresas fletar aeronaves sin posibilidad de revender la capacidad, pudiendo embarcar y desembarcar libremente entre los estados contratantes. La existencia de este acuerdo, vigente para los países de la Comisión Europea de Aviación Civil, permitió el nacimiento de un mercado aéreo exclusivamente para el turismo y los viajes de ocio, flexible y con bajas tarifas, y la creación de aerolíneas exclusivamente dedicadas a este segmento de demanda.

El acuerdo de París y el aumento del flujo de turistas en Europa coincidió, además, con un cambio tecnológico fundamental en la industria aeronáutica. Este cambio consistió en la introducción de los motores autopropulsados que superaban en sus prestaciones a los turbo propulsados de hélice y a los de pistones. La aviónica de los aparatos se modificó totalmente al introducirse la presurización de las cabinas y con ello, la posibilidad de conseguir mayor altura y mayores velocidades de crucero, lo que redundó en menores tiempos de viaje y mejoras sustanciales en las condiciones de habitabilidad y confort de las aeronaves.

Los acuerdos bilaterales que establecieron las aerolíneas de bandera incluían el reparto de los itinerarios entre sus respectivos países, el establecimiento de la capacidad de las aeronaves utilizadas, los horarios y las tarifas. En estas condiciones en el tráfico nacional e internacional no existía la competencia ni el libre mercado. Las convenciones que regularon el mercado aéreo internacional estuvieron vigentes hasta 1978 T[6]. La crisis del petróleo de 1973, hizo que el presidente de los Estados Unidos, Gerald Ford (1974-1977), comenzara un camino hacia la desregulación I[10]. En el año 1977 se puso en marcha la liberalización de los precios para las rutas turísticas, que logró efectos muy favorables en los precios y en

la implantación de nuevos servicios. Las convenciones que regularon el mercado aéreo internacional estuvieron vigentes hasta 1978. Con el presidente Jimmy Carter (1977-1981) en el poder, los Estados Unidos fueron los primeros en liberalizar, suprimiendo las regulaciones existentes en su mercado interior, al disolver el Civil Aviation Board y establecer la libertad de operación en los cielos estadounidenses. La aprobación de la "Airline Deregulation Act" en 1978, que, continuando la experiencia de 1977, permitió a las compañías aéreas reducir sus tarifas y establecer un determinado número de nuevas líneas al año sin necesidad de recabar la autorización de la Administración, lo que provocó un cambio radical en el sector, que lentamente se iría extendiendo a otros países. Sin embargo, las restricciones se mantuvieron en los tráficos internacionales. En Europa el proceso de liberalización se inició en 1987 pero no tuvo consecuencias hasta finalizado el período de transición con la constitución del mercado único europeo en 1993. Aún así, se han mantenido en Europa las restricciones en el ámbito internacional, al quedar todavía pendiente un acuerdo entre los Estados Unidos y la Unión Europea en materia de tráfico aéreo general [11].

EL NEGOCIO DEL TRANSPORTE AÉREO

Cabe recordar que cada día millones de personas utilizan el avión en sus desplazamientos de trabajo o de ocio. También conviene recordar el dato de que, sólo en 2011, volaron 2.800 millones de personas en todo el mundo y se transportaron 48 millones de toneladas de carga. A partir de esta cifra, se estima que el impacto económico mundial de la aviación gira en torno a los 2.2 billones[6] de dólares, lo que equivale al 8% del PIB mundial. La industria del transporte aéreo genera globalmente unos 56,6 millones de puestos de trabajo (Fig. 2.1-3), el valor total de bienes transportado representa el 35% del comercio mundial (IATA– Annual Review 2012) I[14]. Se trata de un sector clave en la economía de muchos países por su capacidad para generar empleo y riqueza. Por ejemplo, el impacto del turismo en 2011 ha sido de 1,8 billones de dólares ($1.8 trillion) en la actividad económica global, proporcionando cerca de 100 millones de puestos de trabajo, si se tiene en cuenta que el 51% de todo el turismo internacional está relacionado con servicios aéreos, según el World Travel and Tourism Council, es indiscutible el papel clave del sector en la economía.

[6] *En el contexto de esta tesis, se utilizará billones en su acepción tradicional no anglosajona, de millones de millones, por lo que equivale a –trillion" en el modelo anglosajón. El billion dollars aparecerá como 1.000 millones de dólares.*

El transporte aéreo contabiliza tasas de ocupación superiores al 78%, en comparación con el 40-50% del ferrocarril y el 30% de los automóviles.

El 70% de las empresas afirman que la principal ventaja de usar servicios aéreos es el acceso a un mercado más amplio. La industria del transporte aéreo hace un uso intensivo del capital y su productividad por empleado es tres veces y media más alta que el promedio de otros sectores, es un sector económico de primera magnitud, de cuya eficiencia depende el dinamismo de otros sectores.

La industria del transporte aéreo representa una inversión en un sector de alto riesgo, únicamente por detrás, según datos estadísticos, del sector hotelero; no obstante, los inversores se ven continuamente atraídos por este sector, independientemente de su estado económico. El alto nivel de retorno de inversión y generación de ganancias netas (siempre y cuando la situación y entorno resulten favorables), es una de las principales razones por la que esta industria aún hoy resulta de gran interés para los inversionistas.

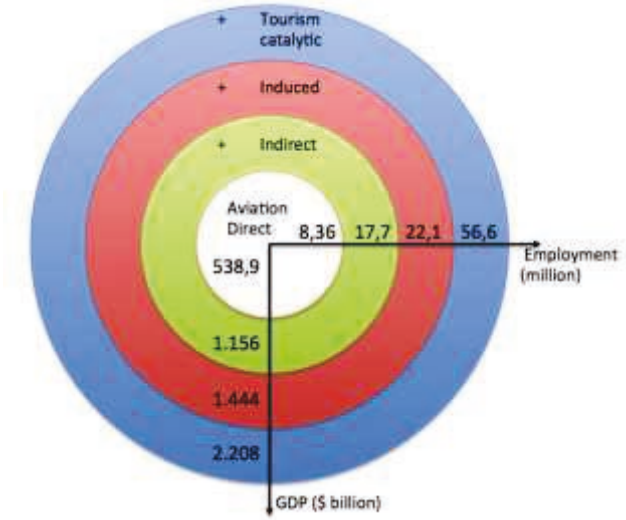


Gráfico 2.1-3. Impacto global sobre el empleo y el PIB del transporte aéreo.
Fuente: IATA – (2012)

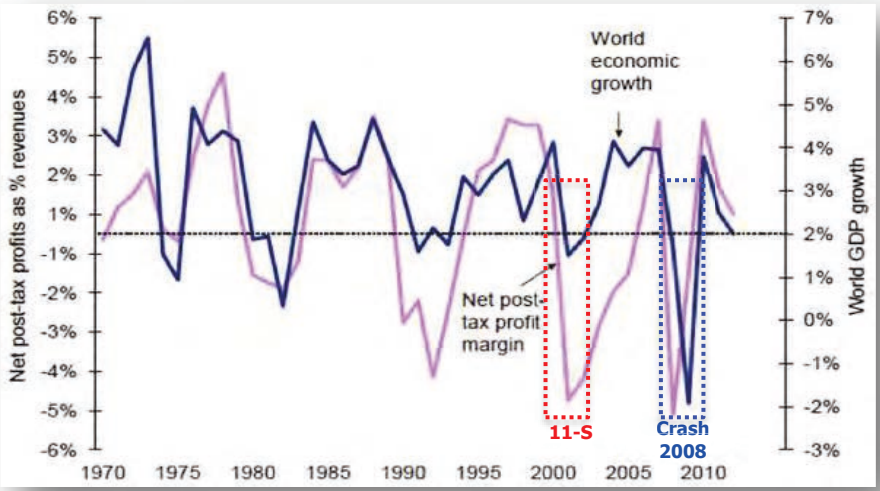
Para conocer la salud actual de las aerolíneas, resulta útil conocer las tendencias, las previsiones de la industria. Según IATA, se prevé que en 2030 la industria del transporte aéreo proporcione 82 millones de puestos de trabajo y mueva 6,9 billones de dólares como actividad económica. Sin embargo, como se ha visto a lo largo de su historia, es habitual que la industria aérea tenga un alto grado de inestabilidad e imprevisibilidad, forzando a las aerolíneas a reestructurarse y optar por estrategias más flexibles, que les permitan responder eficazmente a cambios en su entorno general y específico. Por ello, las nuevas aerolíneas, ya nacidas en este medio, han conseguido una ventaja competitiva frente a las empresas ya existentes, y es que sus estrategias no cargan sobre sus hombros con un legado de deudas y un modelo de negocios obsoleto.

La industria aérea mundial opera generalmente entorno a períodos de supervivencia, adaptación, recuperación e innovación, que podríamos determinar como el ciclo económico de la aviación. Esta realidad ha obligado a muchas aerolíneas a impulsar, ahora más que

nunca, estrategias de negocios más flexibles. La subida incesante del petróleo y la crisis económica a nivel mundial ha llevado a las compañías a buscar una reducción de costes y aumentar la eficiencia mediante, por ejemplo, porcentajes más altos de ocupación y mayor aprovechamiento del combustible o como pronostica Airbus, con aviones de mayor tamaño que mejoren los ratios por pasajero y milla, tanto en consumo como en emisiones.

Los ciclos descritos, están ligados en gran medida a los ciclos económicos mundiales ya que las aerolíneas, como casi todas las empresas, tienen mejores rendimientos en periodos de bonanza y peores con ciclos económicos recesivos, como se puede ver en el grafico 2.1-3 que compara el ciclo económico mundial y los márgenes de beneficio como porcentaje de los ingresos de las aerolíneas desde 1970 hasta 2011.

Gráfico 2.1-4 Crecimiento de la economía mundial vs. márgenes de beneficio de las aerolíneas: 1970 - 2011



Fuente: IATA Financial Monitor for Jan/Feb-2012 released on 01-Mar-2012, sourcing IATA, ICAO & Haver

Debido a los ataques terroristas en Estados Unidos del 11 de Septiembre del 2001, la industria aérea debió afrontar una etapa de marcada supervivencia. Los terribles acontecimientos llevaron a la industria a una situación límite, con un número récord de casos de quiebras, fusiones y adquisiciones. La industria de aviación civil sufrió financieramente de manera global. En 2002, las aerolíneas en EE.UU. perdieron 10 billones de dólares y el miedo a nuevos atentados durante los vuelos redujo la demanda hasta niveles críticos.

En el plazo comprendido entre 2002 y 2003, el sector se vio obligado a adaptarse a un entorno turbulento. Las empresas que lograron sobrevivir al —rapalo", buscaron nuevas estrategias que les permitieran adaptarse al vigente escenario en el que se encontró la

industria. En este período se puede observar la decidida tendencia a la reducción de gastos. Las aerolíneas redujeron su capacidad, eliminaron un gran número de servicios complementarios ofrecidos a bordo, redujeron sus plantillas en los niveles directivos, recortaron en operaciones secundarias (no críticas para el negocio) y aumentaron la antigüedad media de las flotas.

Entre 2003 y 2005, las empresas evidenciaron una recuperación, gracias a una economía mundial que crecía con fuerza. Muchas de las oportunidades para reducir costes habían sido llevadas al límite de sus posibilidades, y por consiguiente las aerolíneas volvieron a enfocarse en la maximización de los ingresos. Durante este período, los ingresos y utilidades volvieron a los niveles previos al —11de Septiembre", y las aerolíneas en EE.UU. llegaron a anunciar beneficios.

Nunca dejaron de reinventarse, pero sobre todo desde el año 2005, las empresas aéreas no dejaron de innovar y se replantearon permanentemente la forma en que gestionaban sus negocios. Por ello en 2007, después de años en que la aviación civil acumulaba registros de un crecimiento exponencial extraordinario y mayor que en los últimos años, se alcanzó un —reord histórico de vuelos programados" a nivel mundial, fue concretamente en mayo de 2007. En general, en esos años las tasas de crecimiento de la aviación fueron 2,4 veces las del PIB.

En el año 2006, por primera vez, según la IATA, los costes de combustible para la aviación superaron a los costes laborales, en un informe realizado sobre el conjunto de las aerolíneas. La tendencia alcista del precio del petróleo se debió, en ese periodo, a un creciente desfase entre la oferta de crudo y la demanda, y ello estuvo motivado básicamente por factores estructurales, independientemente del comportamiento de los mercados.

Además de los altos precios del petróleo el enfriamiento de la economía mundial provocó una disminución en el número de pasajeros. Por lo que la crisis del petróleo de 2008, que coincide en el tiempo con el inicio del crash mundial actual, supuso una nueva apocalipsis para la industria. Nuevamente, muchas aerolíneas debieron asumir una posición de supervivencia, pero esta vez no estaban solas, el resto de las empresas se comportaron de manera semejante. En estos momentos difíciles son numerosos los casos de proyectos fallidos, adquisiciones, fusiones y quiebras, que se acumularon durante 2008 y 2009. Esta

crisis, en la que aún se sigue inmerso, es mucho más grave que la de 2001 ya que la contracción de la demanda está causada por la caída de la renta y la subida de los impuestos, en esta ocasión, el público no viaja porque no puede. Lamentablemente durante estos años se ha perdido todo el crecimiento acumulado en los años anteriores.

IMPACTO DE LA CRISIS EN CIFRAS

La Asociación Internacional del Transporte Aéreo (IATA) previó que las aerolíneas registrarían unas pérdidas de 5.600 millones de dólares (más de 3.849 millones de euros) en 2010, por los altos costes y los bajos rendimientos que sufre el sector por la caída de la demanda. Entre 2000 y 2009 las compañías aéreas han cedido 49.100 millones de dólares (más de 33.750 millones de euros), con un promedio por año de 5.000 millones de dólares (más de 3.430 millones de euros). En cuanto a la demanda, la asociación pronosticó para 2010 una caída del 4,1%, mientras que el tráfico de pasajeros crecería un 4,5%. En total, se esperaba que 2,28 millones de pasajeros volaran en 2010, con lo que el número total de usuarios se situaría en los niveles de 2007.

Datos poco halagüeños mezclados con perspectivas de crecimiento global, son dos razones más que justifican el interés de un modelo que anticipe rendimientos y ayude a planificar con eficiencia.

2.2. Análisis de datos multivariantes y modelización econométrica.

Cuando se repasa la doctrina, hay un punto de encuentro de los diferentes autores, y es que el análisis multivariante no es fácil de definir. Por ello, debe enmarcarse de la manera más amplia posible, y en este sentido, se pueden incluir todos los métodos estadísticos que analizan simultáneamente medidas múltiples de cada individuo y objeto sometido a investigación. De aquí que, cualquier análisis simultáneo de más de dos variables puede ser considerado aproximadamente como un análisis multivariante. No obstante y en sentido estricto, muchas técnicas multivariantes no son más que extensiones del análisis univariante o bivariante (clasificaciones cruzadas, correlación, análisis de la varianza y regresiones simples utilizadas para analizar dos variables). Es por ello que el análisis multivariante se convierte en no pocas ocasiones en un medio de representar en un análisis simple aquello que abarcó varios análisis utilizando técnicas univariantes. Pero, hay que aclarar, que existen otras técnicas multivariantes diseñadas exclusivamente para tratar con problemas multivariantes, tales como el análisis factorial que se usa para identificar la estructura subyacente de un conjunto de variables o el análisis discriminante que sirve para diferenciar entre grupos basados en un conjunto de variables. [1]

Probablemente, la razón principal para definir el análisis multivariante es que se utiliza indistintamente tanto para investigaciones multivariables (número de variables u observaciones), como para las combinaciones entre las múltiples variables (múltiples **valores teóricos**). En el entorno de esta tesis, el análisis multivariante incluirá, según convenga a la investigación, tanto técnicas multivariables como técnicas multivariantes. En concreto, **se manejarán p variables observadas en n elementos**. Las variables pueden ser cuantitativas, cuando su valor se exprese numéricamente, como la envergadura alar de una aeronave, o cualitativas, cuando su valor sea un atributo o categoría, como el tipo de motores que son reactores o de pistón. Las variables cuantitativas además podrán ser continuas o de intervalo, cuando puedan tomar cualquier valor real en el intervalo, o discretas, cuando sólo toman valores enteros, por ejemplo el número de motores.

En el caso de las variables cualitativas se pueden clasificar en binarias, cuando toman únicamente dos valores posibles, motor (pistón (1), reactor (2)) o generales, cuando toman muchos valores posibles, como pasaría si consideráramos los nombres de las compañías aéreas. En los capítulos siguientes se verá que en el modelo a desarrollar en el marco de esta tesis no hay de este tipo.

Como se reflejaba en el apartado anterior, cabía incluir tanto las existencia de múltiples variables como la combinación de las mismas para obtener lo que se ha definido como valor teórico, elemento esencial del análisis multivariante. Es decir, definiremos como ***valor teórico***, una combinación lineal de variables con ponderaciones determinadas empíricamente. Como investigador especificaremos las variables, mientras que las ponderaciones serán objeto específico de determinación por parte de la técnica multivariante. De manera que un valor teórico de p variables ponderadas (X_1 a X_p) podrá expresarse matemáticamente como:

$$\text{Valor teórico} = w_1X_1 + w_2X_2 + w_3X_3 + \ldots + w_pX_p$$

donde X_i es la variable observada y w_i es la ponderación determinada por la técnica multivariante. El resultado será un valor único que representará una combinación de todo el conjunto de variables que mejor se adaptan al objeto del análisis multivariante específico.

En el ámbito de esta tesis, se va a considerar a cada aeronave como un individuo perteneciente a la población constituida por la totalidad de aeronaves comerciales desarrolladas y utilizadas en toda la historia de la aviación comercial, sobre la cual se va a hacer un muestreo, que se explicará detenidamente más adelante. Cada elemento de esta población, es decir cada aeronave de las n consideradas, será multivariable, porque cada una de las características constructivas que se van a considerar será una variable, de manera que cada parámetro constructivo considerado será un término de un vector de p elementos o variables y cada vector representará a una aeronave.

Se supondrá en adelante que **se han observado p variables numéricas (parámetros representativos de la aeronave) en un conjunto de n elementos (aeronaves de estudio en la muestra)**. Cada una de estas p variables es una variable escalar y univariante y **el conjunto de las p variables forman una variable vectorial y**

multivariante. Los valores de las **p variables escalares** en cada uno de los **n elementos** pueden representarse en una **matriz,** $\mathcal{X}$, de **dimensiones (n×p),** que constituirá la **matriz de datos** para esta tesis. Se denotará por $\mathbf{x_{ij}}$ al elemento genérico de esta matriz, que representa el valor de la variable escalar j sobre el individuo i. Es decir:

≠ datos $\mathbf{x_{ij}}$ donde **i = 1, ..., n** representa el individuo aeronave;
j = 1, ..., p representa la variable parámetro de la aeronave. [5]

Siguiendo con la notación del profesor Peña, la matriz de datos, $\mathcal{X}$, puede representarse de dos formas distintas. Por filas, como:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1' \\ \vdots \\ x_n' \end{bmatrix}$$

donde **cada variable** $\mathbf{x'_i}$ es un **vector fila, (p × 1), que representa a una aeronave y los valores de las p variables/parámetros representativos de la aeronave i**. Alternativamente, se puede representar la matriz $\mathcal{X}$ por columnas:

$$X = [x_{(1)} \quad \cdots \quad x_{(p)}]$$

donde ahora **cada variable** $\mathbf{x_{(j)}}$ es un **vector columna, (n × 1), que representa la variable escalar y parámetro significativo de la aeronave** $\mathbf{x_j}$ **medida en las n aeronaves o elementos de la población.**

Con esta notación se denominará $x = (x_1, ..., x_p)'$ a la variable multivariante formada por las p variables escalares que representan a los parámetros característicos de las aeronaves, que toman los valores particulares $x_1, ..., x_n$, en las n aeronaves o elementos observados.

Aunque se abundará más adelante sobre ello, a modo de aclaración, se puede adelantar por ejemplo, que la longitud del fuselaje sería un parámetro caracterizador de ese vector aeronave, como también lo serían el ancho del fuselaje o el número de pasajeros que puede transportar, o si la aeronave es un reactor o es de hélice… En la segunda parte de la tesis, se calculará el ***valor teórico*** de cada una de las variables, es decir de las componentes vectoriales, ponderando con coeficientes los valores de dicha variable en las diferentes aeronaves. De esta manera se obtendrá un vector aeronave que será la combinación lineal de los otros vectores aeronaves y que en virtud de los criterios que se desarrollarán terminará representando al conjunto de aeronaves del que ha surgido como combinación lineal.

MODELIZACIÓN ECONOMÉTRICA

La econometría es la aplicación de la estadística matemática a unos ciertos datos económicos, para dar soporte empírico a los modelos construidos por la economía matemática y obtener resultados numéricos. Es decir, un análisis cuantitativo de fenómenos económicos reales (datos), que junto a la teoría económica, las matemáticas y la inferencia estadística sirven para crear modelos que permiten predecir el comportamiento futuro y explicar el comportamiento pasado del fenómeno económico en estudio.[3]

El método de la investigación econométrica se centra en conjugar la teoría económica y la medición real, utilizando como nexo la teoría y la técnica de la inferencia estadística. La teoría económica hace afirmaciones o formula hipótesis de naturaleza principalmente cualitativa. Por ejemplo, en microeconomía se establece que la demanda y el precio de un bien se relacionan de manera inversa, pero no da una medida numérica de la relación. El trabajo econométrico es proporcionar las estimaciones numéricas, es decir, suministra una ecuación que liga ambas variables. Para ello utiliza los datos recopilados por la estadística económica, constituyendo toda la información recogida la materia prima para el trabajo econométrico, que se encargará de probar o refutar las teorías económicas.

La metodología tradicional del econometrista consiste en:

1. Planteamiento de la teoría o de la hipótesis.
2. Especificación del modelo matemático de la teoría.
3. Especificación del modelo econométrico o estadístico de la teoría.
4. Obtención de datos.
5. Estimación de los parámetros del modelo econométrico.
6. Prueba de hipótesis.
7. Pronóstico o predicción.
8. Utilización del modelo para fines de control o de política.

La econometría se transformó como disciplina independiente de la estadística matemática porque se concentró en los problemas inherentes a la recopilación y análisis de datos económicos no experimentales. Estos datos no experimentales no se obtienen en experimentos controlados acerca de individuos, empresas o sectores de la economía como si se estuviera dentro de un laboratorio (a veces se denominan ***datos observacionales*** [2]

para destacar el hecho de que el investigador es un recopilador pasivo de ellos). Y no se hace, porque no se puede, y no se puede porque en ocasiones es imposible, en otras su coste es injustificable y en algunas porque sería poco ético utilizar como cobayas a elementos de la sociedad. Los econometristas han tomado de la estadística matemática todo lo que han podido y en ambos casos el método de análisis de regresión múltiple ha sido básico tanto para la econometría como para la estadística matemática, diferenciándose principalmente en enfoques e interpretaciones. No obviando que los economistas han desarrollado sus propias técnicas para manejar mejor la complejidad de sus datos y para poder probar sus predicciones.

En una visión amplia de la estructura y metodología de esta tesis, se puede ver que comparte la metodología econométrica, tanto en el origen, basado en datos recopilados de la realidad ***(datos observacionales)***, como en el uso de la estadística, como medio para establecer modelos de regresión en base a correlaciones, que permitan explicar el histórico de esos datos, sus tendencias, inferir valores para toda la población y deducir comportamientos futuros a partir de los modelos de regresión obtenidos. El tipo de datos manejados justifica plenamente el que sean observacionales, ya que implican una recopilación pasiva de comportamientos de la sociedad.

No sólo eso, se espera que la metodología econométrica provea en el momento adecuado de esta tesis, herramienta para medir la bondad del ajuste, los errores, intervalos de confianza, la precisión y la calidad de las estimaciones.

2.3. Parámetros característicos en la evolución de las aeronaves comerciales.

Como se decía en el apartado de objeto y alcance de la tesis, todo el estudio se ceñirá a las aeronaves comerciales y en concreto a las destinadas al transporte de pasajeros. Antes de entrar en rendimientos, siguiendo el plan preestablecido, se ha decidido comenzar por el estudio de uno de los aspectos importantes que van a marcar la tesis, y es la definición y selección de los parámetros caracterizadores de dichas aeronaves, ya que al fin y al cabo serán los datos de partida, que además deberán cumplir como condición indispensable de inicio, el hecho de ser capaces de recoger los avances de estas aeronaves comerciales a lo largo de su evolución histórica.

Para comenzar, se van a definir los parámetros que tradicionalmente se han estado utilizando en la descripción técnica de una aeronave y una vez que estén bien identificados se pasará a seleccionar los que, por diferentes motivos, se ajusten más a los objetivos de la tesis.

Todos los parámetros, de una manera directa o indirecta, van a ir relacionados con los elementos esenciales de un avión:

- fuselaje, ala, cola, planta propulsora y tren de aterrizaje.

Se han agrupado los parámetros en varias **secciones:** dimensiones y geometría, datos básicos de funcionamiento y operación, para terminar con pesos y capacidades diseñadas.

1. SECCIÓN DE DIMENSIONES y GEOMETRÍA.

a. Aeronave completa:

- **Longitud total (m):** dimensión longitudinal total de la aeronave. Sólo se diferenciará de la longitud del fuselaje si la cola del avión sobresale por detrás de éste. En muchos de los casos se puede observar que los dos parámetros tienen el mismo valor.
- **Altura total (m):** medida que abarca desde la "panza" del fuselaje, parte del fuselaje más próxima a la pista, hasta el extremo superior de la cola.

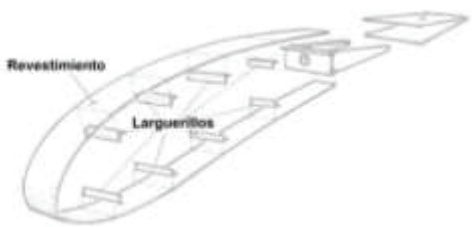
b. Fuselaje: en los inicios de la aviación, el fuselaje consistía en una estructura abierta que soportaba el resto de componentes del avión. La necesidad de aumentar la resistencia y mejorar las prestaciones llevó a desarrollar fuselajes cerrados, afianzados y sujetos, que mejoraban las condiciones aerodinámicas, proporcionaban protección a los pilotos y pasajeros y conseguían mayor espacio para el equipaje y la carga. Hoy día el fuselaje es el cuerpo principal de la estructura del avión, cuya función principal es la de dar cabida a la tripulación, a los pasajeros y a la carga, además de servir de soporte principal al resto de los componentes. El diseño del fuselaje además de atender a estas funciones, debe proporcionar un rendimiento aceptable al propósito a que se destine el avión. Los fuselajes que ofrecen una menor resistencia aerodinámica son los de sección circular, elíptica u oval, y de forma alargada y ahusada.

- **Longitud del fuselaje (m):** aspecto longitudinal del mismo, caracterizado por una geometría suave para conseguir buenas propiedades aerodinámicas, pero no demasiado esbelta.
- **Ancho del fuselaje (m):** sección transversal que puede ser rectangular o circular. Las secciones circulares se utilizan en aviones que necesitan presurización (necesario en aviones en subsónico alto, por altura de vuelo), esta sección también puede diseñarse como una línea cerrada compuesta por arcos de circunferencia u óvalos. Las secciones aproximadamente rectangulares se utilizan en aviación regional para aprovechamiento de la cabina, con las limitaciones que conlleva en cuanto a baja velocidad y altura, además de no presurización.
- **Ancho máximo de la cabina (m):** indica la dimensión transversal máxima posible medida desde dentro de la cabina de pasaje.
- **Longitud de la cabina (m):** distancia longitudinal de la cabina de pasajeros, es decir, la longitud del fuselaje total menos la del fuselaje de cola.

c. Ala: los primeros aeroplanos que se construían preferentemente eran de dos alas (biplanos) y en ocasiones con tres o con cuatro. Cuando se desarrolló el ala cantiléver[7], el monoplano se afianzó definitivamente. La estructura de un ala consiste en un armazón de largueros y costillas cubierto por planchas metálicas o de material compuesto, unidas y sujetas al mismo por remaches u otros medios. El estado de cargas principal es flexión y en primera aproximación el ala se comporta como una viga en voladizo. Su misión fundamental es generar sustentación.

[7] *Ala en voladizo: también llamada cantiléver, se aguanta por sí misma. Todos los elementos estructurales están bajo la superficie aerodinámica, dando una apariencia limpia y sin ofrecer resistencia aerodinámica.*

≠ **Elementos constitutivos:** largueros (vigas que soportan flexión), costillas (mantienen la forma del perfil, reciben cargas concentradas y la carga dinámica del combustible, su disposición es paralela al fuselaje cerca del encastre y conforme se alejan del ala se acomodan a la flecha), revestimiento (soporta y redistribuye cargas, mayor espesor en los paneles del ala, alta tolerancia al daño y buen comportamiento a fatiga) y larguerillos.



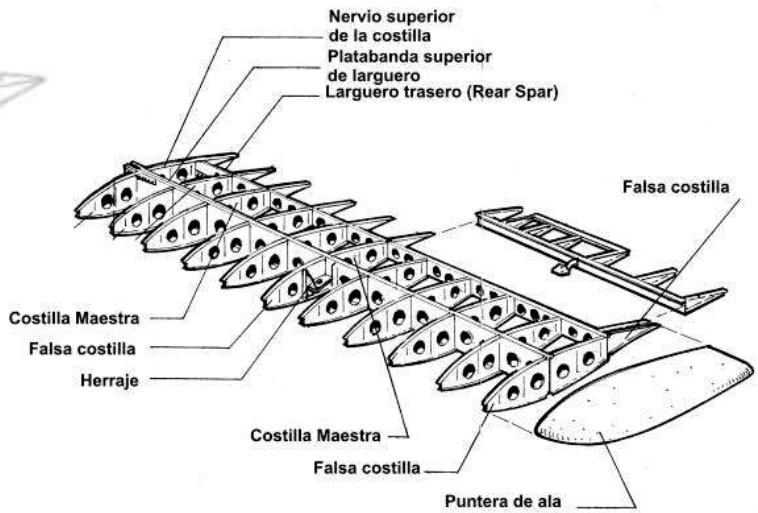


Ilustración 2.3-1 Partes del ala. Fuente: ONI-Arquitectura de Aeronaves. E[16]

- **Envergadura (m):** longitud que mide la separación entre los dos extremos, de punta a punta, de cada semiala.
- **Superficie alar (m^2):** área formada por la superficie del ala. La superficie alar es usada como referencia a la hora de calcular los coeficientes de fuerzas. Aunque la envergadura es importante para determinar la superficie alar, la forma en planta desempeña un papel decisivo, existiendo diferentes tipos de configuraciones:
  i. **Elíptica:** geometría predominante en la primera mitad del siglo XX, proporciona la menor resistencia inducida, con el inconveniente de que la ley de cuerdas que genera es de difícil fabricación (razón por la que dejó de usarse).
  ii. **Rectangular:** fácil de fabricar, aunque tiene una peor aerodinámica (ideal para aviación general).
  iii. **Trapezoidal:** más ligera que un ala rectangular, momento en el encastre menor y mejores características aerodinámicas.
    - **Solución intermedia rectangular - trapezoidal:** para turbohélice, subsónico bajo y regionales.
    - **Trapezoidal con flecha:** para disminuir problemas de compresibilidad (disminuye el Mach aparente en borde de ataque), aviones en subsónico alto.
    - **Trapezoidal con flecha y quiebros:** la más habitual, sobre todo en subsónico alto, se aprovecha la zona recta trasera para replegar el tren de

aterrizaje y amarrarlo (por lo que esta ala suele ser baja), se debe rigidizar esta zona para reconducir las cargas.

- **Flecha (grados):** ángulo que forman las alas (más concretamente la línea del 25% de la cuerda) respecto del eje transversal del avión. Convendría definir esta línea: es imaginaria y se obtendría al unir todos los puntos situados a una distancia del 25% de la longitud de la cuerda de cada perfil (medida desde el borde de ataque). La flecha puede ser positiva (extremos de las alas orientados hacia atrás respecto a la raíz o encastre, que es lo habitual), neutra, o negativa (extremos adelantados). El ala en flecha positiva es una configuración alar común en los aviones de alta velocidad ya que soportan mejor la flexión. De esta forma un ala gruesa puede ser "adelgazada" al rotarla hasta lograr un ángulo relativo a la dirección del flujo de aire orientándola para atrás.

d. Tren de aterrizaje: el tren de aterrizaje suele ser uno de los mecanismos más complicados de un avión. Entre sus componentes se incluye el amortiguador principal, que es una pata con una estructura muy resistente, en cuya parte inferior y antes del ensamblaje de las ruedas lleva un amortiguador hidráulico para absorber el impacto del aterrizaje. Va sujeto a los largueros del ala o del fuselaje. El mecanismo de accionamiento del tren permite extenderlo y retraerlo al accionar desde la cabina de pilotos la palanca de mando. Por lo general, se actúa con energía hidráulica. Los frenos también suelen ser hidráulicos y provistos de sistema antideslizante. Hay varios tipos de trenes de aterrizaje, el más común es el triciclo. Consta de dos patas principales situadas detrás del centro de gravedad del avión y una tercera más pequeña en el morro. Para la retracción de las patas principales, suelen ser recogidas en el fuselaje o en góndolas.

- **Wheelbase (m):** distancia que separa los ejes del tren de aterrizaje. Va aumentando según aumenta la longitud del avión.
- **Wheeltrack (m):** Es la vía de las ruedas que componen el tren. La medida (en dirección transversal al avión) entre las ruedas que van rodando en paralelo.

2. SECCIÓN DE DATOS BASICOS DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN.

a. Motor:

- **Tipo:** encontramos dos tipos de motores:
  i. El **motor de pistón,** utilizado por aviones propulsados por hélice. Puede ser de dos tipos: de cilindros y rotativo.

ii. **Los motores de reacción.** El motor de reacción se basa en el principio de acción y reacción y se divide en tres grupos: el turborreactor, el turbopropulsor y el motor cohete.

La selección del tipo de motor se hace en función del régimen de vuelo. No se tiene influencia sobre el diseño de la planta propulsora, por lo que se selecciona a partir de los disponibles entre los catálogos de fabricantes. El ***rendimiento propulsivo*** es muy importante ya que dictamina la altitud y velocidad que puede mantener.

- **Número de motores:** debido a que la certificación será bajo la norma JAR 25 o FAR 25, como mínimo tendrá 2 motores (mono-motor para aviación general). Desde la óptica del mantenimiento interesa disminuir el número de motores, ya que éste es muy complejo. En cuanto al precio, interesa también disminuirlo, porque aunque tenga más potencia, disminuye el precio del grupo propulsor (sistema que se compra a otro fabricante).
- **Modelo:** la selección final del motor dependerá del empuje o potencia, peso, consumo específico, precio, mantenimiento, etc. Los más comunes son Pratt & Whitney, General Electric y Rolls-Royce.
- **Rango de potencia por unidad de motor (KN):** indica el intervalo de potencia unitaria, independientemente del número de motores que lleve la aeronave.

b. Pasajeros, tanto en configuración típica como el nº máximo: debido a la altitud, el fuselaje debe ser un receptáculo calentado, presurizado y adaptado al pasajero, con la ventilación adecuada y con control sobre la humedad y temperatura.

- **Número típico de pasaje:** cantidad de personas que pueden ir acomodadas en la aeronave, distribuidas en la configuración típica de la misma.

  Las normas dicen que como máximo habrá una distancia transversal, desde cualquier asiento, de dos asientos hasta un pasillo (no puede haber cuatro asientos pegados a una pared ni siete seguidos). Por lo que se llega a las siguientes distribuciones:

  i. **Menos de 200 pasajeros (un pasillo – single aisle):** con una esbeltez de 12 y seis asientos por fila, esta es la configuración para un avión de fuselaje estrecho.

  ii. **De 200 a 500 pasajeros (dos pasillos – twin aisle):** en comparación con el anterior, si se utiliza un fuselaje ancho, aumentará el número de filas y el número de asientos por fila, pero para esto último habrá que aumentar el

número de pasillos por la norma. Este tipo de concepción aumenta el volumen de bodegas y por tanto la capacidad de carga.

iii. **Más de 500 pasajeros (dos pisos - VLA):** necesidades de volumen muy grande, se puede buscar una configuración de dos pisos, y distribuirlos de manera análoga a los casos anteriores, o se pueden aplicar otras configuraciones.

- **Número máximo de pasajeros:** capacidad máxima de pasajeros que la aeronave puede albergar.

c. **Crew:** número de personas que componen el equipo de la **tripulación** de cabina. Por tripulación de cabina se hace referencia a los pilotos, co-pilotos e ingenieros de vuelo. En ningún caso se incluirá a los auxiliares de vuelo. El morro del avión debe albergar a la tripulación y por tanto ha de tener una cabina con visibilidad suficiente.

d. **Comportamiento:**

- **Alcance del avión (km):** se evalúa en primera aproximación con la ecuación de Breguet. Es un parámetro que crece con la tecnología. Para vuelo horizontal rectilíneo, indistintamente del motor a usar, está comprendido entre 10.000 y 30.000 Km para turbofan y 10.000 y 20.000 Km para turbohélice. Dependiendo del alcance, elegimos el tipo de motor adecuado.
- **Número de Mach máximo (Mmo):** es una medida adimensional de velocidad que se define como el cociente entre la velocidad máxima operativa de un objeto y la velocidad del sonido en el medio en que se mueve. Cuanto mayor sea la altura sobre el nivel del mar o menor la temperatura de la atmósfera, menor es la velocidad del sonido. De esta manera, no es necesario saber la velocidad del sonido para saber si un avión que vuela a una velocidad dada la ha superado: basta con saber su número de Mach.

  Normalmente, las velocidades de vuelo se clasifican según su número de Mach en:
  - Subsónico: $M < 0,7$
  - Transónico: $0,7 < M < 1,2$
  - Supersónico: $1,2 < M < 5$
  - Hipersónico: $M > 5$
- **Velocidad de crucero y Velocidad máxima (km/h):** se define como aquella velocidad constante y uniforme que puede llevar una aeronave en condiciones normales de presión y temperatura, sin sufrir perturbación o variación de velocidad,

altura, tracción y resistencia en el vuelo. Es estable y el avión se mantiene en la mayoría de su trayecto a dicha velocidad, actuando como un piloto automático, y por tanto requiriendo poco esfuerzo por parte de la tripulación. Toda aeronave posee su propia velocidad crucero estándar, que va a depender del tipo de motor, la envergadura del fuselaje y la superficie alar.

- **Techo de la aeronave (m):** es la altitud máxima que una aeronave puede alcanzar dado un conjunto de condiciones.

3. SECCIÓN DE PESOS y CAPACIDADES DE DISEÑO.

a. **MRW (Maximum Ramp Weight) (toneladas):** peso máximo de rodaje. Es el peso máximo autorizado para las maniobras (rodaje y remolque) de un avión en tierra, marcado por requerimientos de resistencia y aeronavegabilidad. Incluye el peso del combustible del rodaje de motor y el peso de combustible del rodaje a cabecera.

b. **MTOW (Maximum Take Off Weight) (toneladas):** peso máximo al despegue. Es el máximo peso de una aeronave con el cual el piloto tiene permiso para tratar de despegar. El MTOW se compone de: peso en vacío del avión + 100% de carga de pago + 100% de combustible. Este peso es el máximo peso al que el fabricante ha conseguido cumplir todos los requisitos de certificación. Muchos de los requisitos limitantes son la resistencia estructural y las actuaciones en despegue. El MTOW se suele especificar en kilogramos o libras, y es superior al peso máximo de aterrizaje, ya que en este último el avión lleva menor cantidad de combustible.

c. **MLW (Maximum Landing Weight) (toneladas):** peso máximo al aterrizaje. Es el peso máximo con el que se autoriza al avión a aterrizar, depende normalmente de la resistencia a los impactos en el aterrizaje de ciertas partes de la estructura; debe ser siempre mayor que el MZFW y menor que el MTOW (aproximadamente un 95% de este).

d. **MZFW (Maximum Zero Fuel Weight) (toneladas):** Peso máximo sin combustible. Es el peso operativo en vacío (OEW) más la carga de pago. Se utiliza para denotar el peso del aparato menos el combustible de sus alas.

e. **Capacidad máxima de combustible (litros):** el tanque de combustible es la propia ala, la cual es un tanque integral dispuesto a lo largo de su envergadura (suelen ser dos tanques principales y dos de reserva en cada semiala, o tanque central para aviones de largo alcance, pudiendo utilizarse el estabilizador horizontal

para este fin). Ha de preverse un volumen de dilatación para el combustible. La colocación de los tanques es muy importante por:

- **Impacto del consumo de combustible en la posición del centro de gravedad:** debido al movimiento del combustible en vuelo, se debe asegurar el control de momentos a lo largo del vuelo.
- **Diseño estructural:** la colocación de peso en el ala alivia el momento flector producido por la sustentación (razón por la que es ventajoso colocar motores y combustible en el ala). Por esta razón, el consumo de combustible comienza por el cercano al plano de simetría y acaba con el más alejado de éste (tanques de reserva en punta del ala).
- **Mandos en el ala:** dispositivos hipersustentadores, alerones, spoilers. Posición, actuadores, amarres y guías.

f. **Carga de pago máxima (toneladas):** se llama carga de pago a la cantidad de bienes que se transportan, en este caso por avión, con el objetivo básico de obtener beneficios económicos. La carga se suele medir en peso o volumen dependiendo de la propia mercancía y del modo de transporte. En aviación es crítico buscar un equilibrio entre la carga de pago y el alcance del avión. En este contexto del transporte aéreo, las personas que no son parte de la tripulación se consideran carga de pago porque reportan beneficios a la empresa. Cuanto más carga de pago se introduzca en un avión menos combustible se podrá llevar y además el avión pesará más, por lo tanto se podrá recorrer mucha menos distancia.

g. **OEW (Operating Empty Weight) (toneladas):** peso operativo en vacío. Es el peso del avión sin carga de pago (tanto mercancías como pasajeros) y sin combustible. Por otro lado se deben tener en cuenta la tripulación (pilotos y auxiliares de vuelo), así como el tren de aterrizaje y todos los líquidos del avión (líquidos hidráulicos, aceites, etc.).

SELECCIÓN DE PARÁMETROS

Una vez definidos los diferentes parámetros de construcción que se han tenido en cuenta hasta ahora, se procederá a la selección de los que serán utilizados en el estudio desarrollado en esta tesis. Si bien es cierto que todo parámetro posee su importancia, de ahí su existencia, la información que algunos aportan puede ser inferida de otros datos que los engloban. Es posible que el estudio puramente estadístico nos revele estas y otras dependencias, pero desde un punto de vista puramente técnico y preliminar, se propone esta primera selección.

Por otra parte, de cara a la recopilación de datos, algunos se presentan más inaccesibles, ya sea por no estar disponibles en todas las versiones del modelo o por no estar recogidos en ningún documento público, en el caso de los modelos más antiguos.

Por tanto, los parámetros discriminados, es decir que no se tendrán en cuenta en este punto por su dependencia de otros y dado que su valor puede ser inferido, son:

- Ancho de la Cabina
- Longitud de la Cabina
- Modelo de motor
- Volumen Total

Y por no estar bien definidos en documentación para un estudio de estas características:

- Flecha
- MRW (Maximum Ramp Weight)
- MZFW (Maximum Zero Fuel Weight)

En la siguiente página se puede observar la Ilustración 2.3-2 en la que se muestran diferentes parámetros de construcción de una serie de aeronaves, poniéndose de manifiesto cuán diferentes pueden ser aún perteneciendo a un mismo rango. Se ha considerado una representación muy elocuente de lo que se pretende evidenciar en este apartado.

En el apartado 3.3 de esta tesis se detallarán los parámetros de estudio con los valores correspondientes a los aviones que previamente se habrán seleccionado en el apartado 3.2 y que serán los que se utilizarán en el resto del estudio.

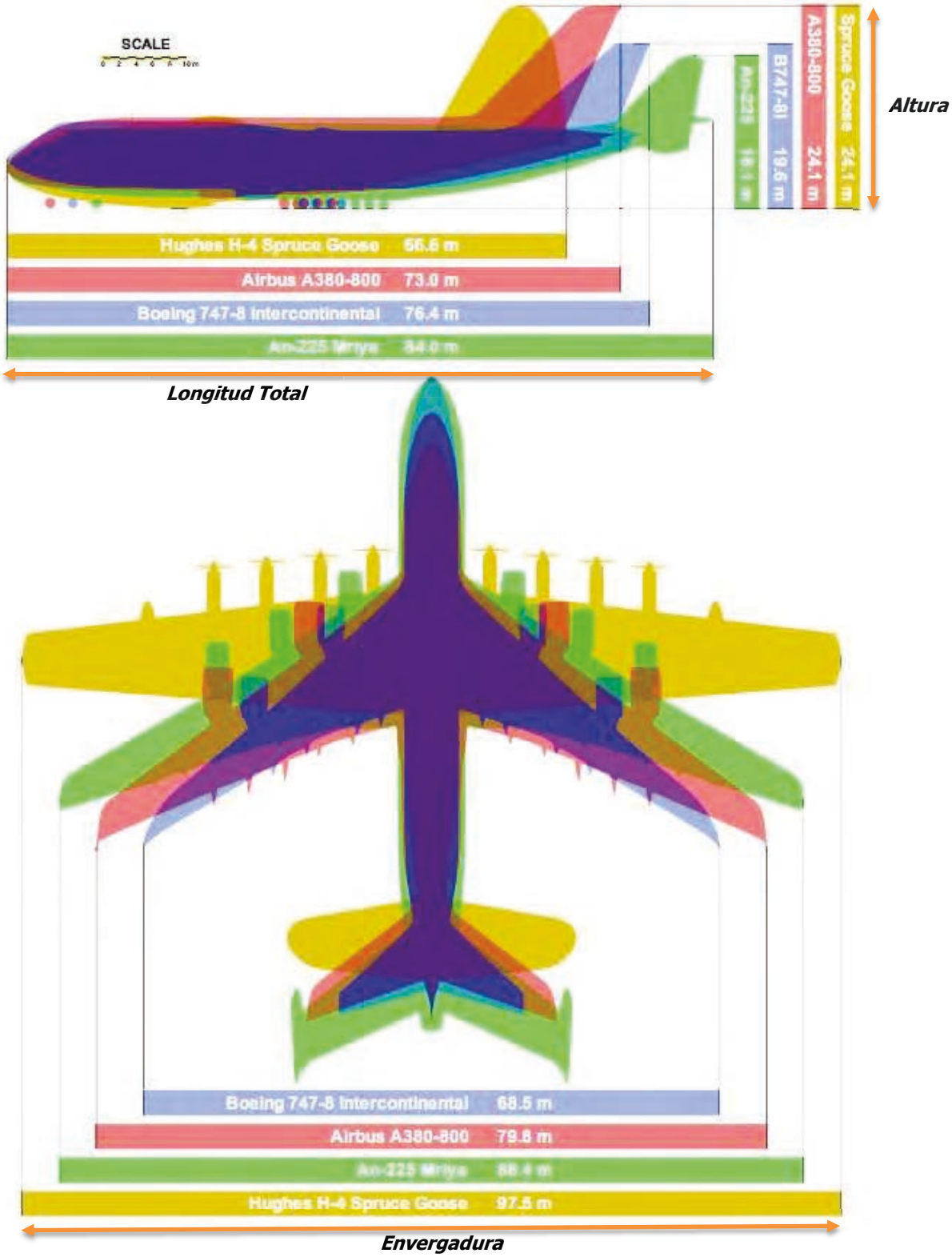


Ilustración 2.3-2 Comparativa de parámetros de construcción

Source: Original Work - Clem Tillier

2.4. Indicadores clave de rendimiento – KPIs.

Los indicadores clave del rendimiento son un concepto que pese a tener un nombre tan moderno, integrado en unas siglas muy de nuestros días, se ha venido utilizando desde la antigüedad.

El ejemplo más curioso y sorprendente de lo se podría considerar un origen de los KPI hay que buscarlo en el del Antiguo Egipto. Se sabe, por los estudios antropológicos realizados, que los egipcios se fijaban en el nivel alcanzado por las aguas del río Nilo en la época de lluvias y lo utilizaban para predecir la cuantía de la cosecha meses más tarde, y poder de esta manera administrar el grano. Es decir, el nivel de la crecida era su indicador clave del rendimiento de la cosecha de ese año.

A partir de este simple y esclarecedor ejemplo se puede enunciar la definición de indicador clave del rendimiento: un KPI debe ser algo medible, para poder ser un indicador y además debe ser clave, es decir, que con un número reducido de indicadores se pueda desvelar mucha información, muy útil a la hora de tomar decisiones.

En la Revolución Industrial, la producción se basaba en economías de escala, donde el único indicador clave de rendimiento que se tenía en cuenta era el coste unitario. Se producía cuanto se podía para abaratar los costes unitarios de producción y se intentaba la venta masiva, almacenando el stock sobrante que frecuentemente era muy grande. Esto puede ser criticable hoy en día y sobretodo es inviable, entonces y ahora, para la producción de servicios. No se pueden almacenar las noches de estancia en un hotel cuando las habitaciones están vacías para los picos de la temporada alta. Como tampoco se pueden almacenar los asientos no ocupados en un avión en un vuelo poco demandado para disponer de ellos cuando llegan puentes o vacaciones. Es decir, en los servicios en general, tal y como pasa en el transporte aéreo, el almacenaje no es posible.

Desde la Revolución Industrial, los procesos de toma de decisiones han tenido que ir evolucionando debido la complicación creciente derivada de las variables a tener en cuenta.

Al principio del siglo XX se habían desarrollado dos sistemas de control financiero en las empresas americanas, que sirvieron para dirigir la estrategia empresarial:

- Rendimiento sobre el capital empleado (ROCE): que orientaba a invertir el capital empleado por la empresa de la manera más productiva.
- Vigilancia sobre la eficiencia del capital en las unidades operativas.

Usando estos dos indicadores, se conseguía invertir aceptablemente y realizar de manera suficientemente buena las operaciones y por ello las compañías prosperaban. Es decir, los indicadores que se vigilaban y se cuidaban eran solamente de carácter financiero.

Pero todo cambió tras la Segunda Guerra Mundial y la tras evolución tecnológica que supuso. Se desarrollaron los primeros sistemas informáticos, que fueron perfeccionados durante la Guerra Fría, hubo un florecimiento y expansión de las telecomunicaciones, que continúa hasta hoy en día. Esta globalización hizo crecer a las primeras multinacionales que se interconectaron con clientes y proveedores distribuidos por todo el mundo.

Además, durante los años ochenta y noventa en muchos países occidentales se iniciaron grandes operaciones de liberalización en sectores como las telecomunicaciones, petroleras y en el sector del transporte aéreo, como se pudo ver en el apartado 2.1 de esta tesis. Estos cambios ocasionaron que los entornos de tales negocios se hicieran más dinámicos, que aumentase la competencia y que los márgenes de beneficio fueran menores.

El planteamiento estratégico cambió radicalmente. No bastaba con saber gestionar las actividades tangibles de la compañía, sino que había que saber gestionar las intangibles, es decir, había que fijarse en indicadores no financieros, que mostrarían:

- El nivel de fidelización de los clientes.
- El atractivo de un mercado, para seleccionar un segmento de clientes objetivo y ofrecer productos pensados para conquistar un nicho de mercado.
- Cómo obtener productos de calidad, con bajo coste y poco tiempo de espera.
- Cómo motivar a los empleados para obtener mayor productividad.
- Cómo aplicar la tecnología convenientemente.

La revolución tecnológica afectó el modo de estudiar los procesos operativos. Hasta ese momento eran unidades muy especializadas en la prestación de un servicio, que se encargaban de producir muchas unidades de un producto de muy alta calidad y con alta

eficiencia, u ofrecía un servicio de muy alta calidad y muy definido, pero tuvieron que evolucionar para adaptarse a nuevos mercados y diversificarse. Cada vez había más variantes sobre un mismo producto o servicio, cada vez era más caro almacenar cuando era posible y cada vez era más difícil hacer previsiones comerciales. Por todo ello las economías de escala resultaban cada vez más complicadas de conseguir.

Esto hacía imposible aplicar el modelo de actuación que se estaba aplicando hasta el momento, había que integrar los procesos para conseguir mayor agilidad y eficiencia.

Algunos de los cambios a los que se vieron sometidas las grandes compañías fueron:

- **Globalización de operaciones:** la globalización abrió nuevos mercados, nuevos clientes… y nuevos competidores comenzaron a participar en mercados hasta ese momento muy acotados, como las compañías de bajo coste o LCC. La competencia se internacionalizó, y debido a esto las compañías tuvieron que volverse más eficientes aún. Ya no valía ser el mejor de la zona, sino había que ser el mejor de los mejores. Había que intentar conquistar nuevos mercados pero sin descuidar a los clientes locales.
- **Relaciones compañía-clientes:** los grandes avances en tecnología de la comunicación han hecho cambiar el planteamiento de producción y aprovisionamiento. En la industria tradicional se producían transacciones entre cliente y proveedor en igualdad de condiciones y en función del stock disponible. Hoy en día los pedidos no están al final de la cadena, sino durante. Activan mecanismos que modifican la cadena de producción, adaptándose las compañías a la demanda, y no al contrario. Con esto se pretende reducir los tiempos de espera, ajustar costes y buscar la satisfacción del cliente. La globalización y abundancia de servicios por parte de compañías internacionalizadas ha hecho que el consumidor se vuelva más exigente. Las compañías ya no se limitan a producir en masa y vender, sino que tienden a —personalizar productos". Se intentan ofrecer servicios y productos con un cierto margen de personalización y sin incrementar los costes.
- **Innovación:** la innovación se convirtió en pilar básico de la economía de las empresas, por lo que las compañías debían ofrecer productos más innovadores que la competencia. Innovar da una ventaja competitiva durante algún tiempo, que lamentablemente cada vez es más corto.

- **Recursos Humanos:** antes se diferenciaban claramente dos grupos, la élite intelectual, formada por ingenieros y directivos encargados de analizar, planificar y dirigir al grueso de los empleados, y estos últimos, a los que se les exigían cuotas de trabajo sin plantear la finalidad de su trabajo. Para adaptarse a los nuevos tiempos y siempre en busca de la integración de operaciones, el proceso ha cambiado y las diferencias se han reducido. Ahora a los trabajadores se les exigen soluciones a los problemas, que apliquen sus conocimientos y experiencias, pues la información obtenida de primera mano es muy valiosa. A la dirección se le exige cercanía y conocimiento de las operaciones de la empresa, en forma de indicadores diferentes y más concretos a los estudiados hasta el momento.
- **Indicadores:** el lema utilizado en el uso de indicadores es ***"...Si no se puede medir, no se puede gestionar*** [8] ***..."***. Hay que recurrir al uso de una serie de indicadores que nos muestren la calidad de las gestiones, y con ello se obtendrán resultados financieros.

INDICADORES FINANCIEROS FRENTE A INDICADORES NO FINANCIEROS

Pese a los orígenes no financieros de los indicadores, como en el ejemplo del Antiguo Egipto, desde la Revolución Industrial hasta los años ochenta se han utilizado mayoritariamente los indicadores financieros en la gestión de empresas. Eran considerados como los únicos y más fiables, formando el denominado —lenguaje de los negocios". Su utilización también era común en las civilizaciones antiguas, desde egipcios, sumerios y fenicios.

Hasta el momento sólo los indicadores financieros eran analizados con minuciosidad por la alta dirección, mientras que los no financieros eran manejados por unidades operativas situadas en niveles inferiores en la estructura de la empresa. Esto era así porque se asumía que los financieros englobaban a los no financieros.

El abuso de estos indicadores frente a los no financieros se ha debido, entre otras causas, a que los gestores de las empresas eran recompensados por los resultados anuales obtenidos, por lo tanto buscaban favorecer a la inversión a corto plazo, limitando así el crecimiento de las empresas a largo plazo y su posterior pérdida de situación dominante.

[8] *Es un dicho atribuido al gurú de la gestión Peter Drucker (19-11-1909/11-11-2005), que luego han utilizado como propio muchos expertos en gestión empresarial. Destacar el uso y posterior reflexión construida a su alrededor que popularizó Robert Kaplan en su filosofía del Cuadro de Mando Integral (BSC). [13]*

Desde mediados del siglo XX se plantean nuevos indicadores, más enfocados a activos intangibles e intelectuales. La inversión a largo plazo era interpretada como un gasto, ya que los indicadores financieros no pueden reflejar el *know how*, la satisfacción del cliente… es decir, primaba más el rendimiento sobre la inversión a corto plazo que el crecimiento futuro. Esto es la causa de que muchas empresas pierdan la visión de hacia dónde van, y tarde o temprano sufran las consecuencias.

Durante muchos años ha existido un conflicto a la hora de elegir indicadores, conflicto que se ha resuelto utilizando una estrategia basada tanto en indicadores financieros como no financieros. Hoy en día hay multitud de filosofías de toma de decisiones que mezclan ambos tipos de indicadores, algunas tan famosas como las **cinco fuerzas de Porter** (Michael E. Porter – 1982 [12]) o el **Cuadro de Mando Integral** (Robert Kaplan y David Norton – 1996 [13]), todas ellas parten de la idea de que ambos tipos de indicadores están íntimamente ligados. El Cuadro de Mando Integral o *Balanced Scorecard* (BSC) funciona como los instrumentos e indicadores en la cabina de un avión. Para la compleja tarea de pilotar un avión, los pilotos necesitan información detallada sobre muchos aspectos del vuelo. Necesitan información sobre el combustible, la velocidad del aire, la altitud, el curso, el destino y otros indicadores que resumen el entorno actual y previsto. La dependencia de un solo instrumento puede ser fatal. De manera similar, la complejidad de manejar una organización hoy en día requiere que los ejecutivos puedan tener una visión del desempeño en varias áreas a la vez. El *Balanced Scorecard* permite a los ejecutivos mirar el negocio desde cuatro importantes perspectivas que dan respuesta a cuatro preguntas básicas:

- ¿Cómo nos ven los clientes? (perspectiva del cliente).
- ¿En qué debemos ser los mejores? (perspectiva interna de la empresa).
- ¿Podemos continuar mejorando y creando valor? (perspectiva de innovación y aprendizaje).
- ¿Cómo nos vemos ante los accionistas? (perspectiva financiera).

Los KPIs constituyen un conjunto de métricas enfocadas en medir aquellos aspectos de las características organizacionales que impactan en mayor forma en el éxito actual y futuro de la empresa. Los indicadores o KPIs como se ha indicado del inglés Key Performance Indicators, que también son conocidos como Indicadores Clave de Desempeño, indicadores de rendimiento o indicadores de explotación, tienen por tanto como función medir los progresos hacia la realización de un objetivo organizativo u operacional. Es decir, permiten

medir el nivel del desempeño de un proceso, enfocándose en el "cómo" e indicando el rendimiento de los procesos, de forma que se pueda alcanzar el objetivo fijado. Son métricas (financieras o no) utilizadas para cuantificar objetivos que reflejan el rendimiento de una organización, y que generalmente se recogen en su plan estratégico.

Por tanto, un indicador es un medio de:

- evaluar el servicio
- realizar un diagnostico
- comunicar
- informar
- motivar
- progresar constantemente

Unos KPIs adecuados deben responder el acrónimo **SMART** (juega con el significado de la palabra en inglés, en su acepción de listo, inteligente, bueno y rápido):

- e**S**pecíficos **(Specific)**.
- **M**edibles **(Measurable)**.
- **A**lcanzables **(Achievable)**.
- **R**elevantes **(Relevant)**.
- a **T**iempo **(Timely)**.

Los KPIs son, de alguna manera, "vehículos de comunicación". Es realmente importante que los datos de los que dependen los KPI sean consistentes y correctos, y que estos datos estén disponibles a tiempo.

Para que una organización pueda identificar sus propios KPIs, las claves son las siguientes:

- Tener predefinido de antemano un proceso de negocio.
- Tener claros los objetivos/rendimiento requeridos en el proceso de negocio.
- Tener una medida cuantitativa/cualitativa de los resultados y que sea posible su comparación con los objetivos.
- Investigar variaciones y ajustar procesos o recursos para alcanzar metas a corto plazo.

Los indicadores de rendimiento son frecuentemente utilizados para:

- "Valorar" actividades complicadas de medir como los beneficios de desarrollos líderes, compromiso de empleados...
- Tiempo que se utiliza en mejorar los niveles de servicio en un proyecto dado.
- Nivel de la satisfacción del cliente.
- Tiempo de mejoras de asuntos relacionados con los niveles de servicio.

- ≠ Impacto de la calidad de los recursos financieros adicionales necesarios para realizar el nivel de servicio definido.
- ≠ Rentabilidad de un proyecto (Retorno de la Inversión, ROI).
- ≠ Calidad de la gestión de la empresa (Rotación del inventario, Días de Cuentas por cobrar DCC, y por Pagar DCP...).

RELACIÓN ENTRE INDICADORES DE LAS AEROLÍNEAS Y VARIABLES MACROECONÓMICAS.

Como toda industria, la industria del transporte aéreo de pasajeros está ligada a la situación económica mundial. El aumento del número de pasajeros ha crecido estos últimos años a un ritmo interanual del 8% en los países BRIC, mientras que crece por debajo de un 2% en Europa y EE.UU., más acorde a un sector maduro.

Hechos puntuales de gran trascendencia, como los ataques del 11 de Septiembre a las Torres Gemelas o las crisis del petróleo o las Guerras del Golfo, también se ven reflejados en los indicadores clave de rendimiento de las aerolíneas, como se desprende de los estudios realizados por OACI, por ejemplo en su circular 313/2007 *—Perspectivas del transporte aéreo hasta 2025"* I[3] y se analiza detalladamente en la tesis doctoral del MIT/ICAT, *"Analysis of the interaction between air transportation and economic activity: a worldwide perspective"*, de la doctora Ishutkina T[4].

De todo ello, se puede resumir que la demanda del transporte aéreo depende de una serie de parámetros, alguno de ellos del entorno general fuera de control para las compañías y otros del entorno específico más al alcance de sus estrategias. Como apunte, cabe citar los siguientes:

- ≠ **Precio de los vuelos:** que depende de las variaciones en el precio del carburante o tasas de aeropuertos.
- ≠ **Precio de las alternativas (sustitutivos):** a largo alcance el avión no tiene competidor, pero a corto y medio el tren de alta velocidad se presenta como la mayor amenaza.
- ≠ **Necesidad del consumidor:** fin último que tenga ese viaje, urgencia, etc.
- ≠ **Renta disponible:** crecimiento o decrecimiento de la actividad económica y la riqueza per cápita de los usuarios potenciales del servicio.

- **Preferencias del consumidor:** los gustos y preferencias de los consumidores, son una de las variables más difíciles de manejar.
- **Bienes complementarios:** se refiere a la demanda de fines para los que sirve el transporte aéreo, por ejemplo, si el sector turístico se resiente, el número de vuelos también disminuirá.

Antes de detallar los indicadores más utilizados por las aerolíneas, se considera de interés explicar el uso de indicadores de carácter más macroeconómico que los utilizados tanto por las compañías aéreas como por los países para monitorizar el estado de la industria. Este tipo de indicadores son interesantes puesto que proporcionan resultados globales de todas las compañías de un país.

- **Índice de Servicios de Transporte (TSI por sus siglas en inglés):** este índice muestra los cambios de la demanda dentro de la industria del transporte aéreo, tanto de carga como de pasajeros. Puede ser examinado junto con otros indicadores económicos y no económicos para un mejor entendimiento del futuro y del presente curso de la economía, puesto que como ya se explicó en los antecedentes el PIB de los países está íntimamente ligado a la demanda de transporte.

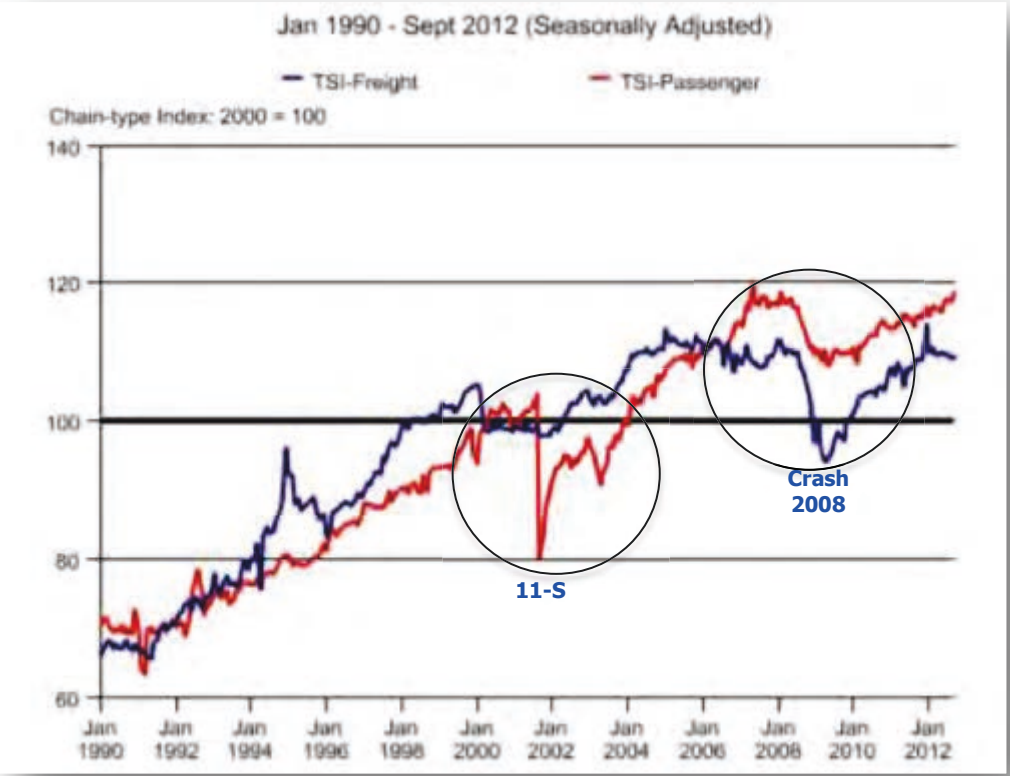


Gráfico 2.4-1 Source: TSI numbers are BTS estimates

Como puede observarse en el gráfico 2.4-1, tras los atentados terroristas de 2001 el descenso de demanda de transporte de pasajeros fue espectacular, pero la industria se recuperó y aumentó la demanda hasta el año 2008, donde la tendencia se invirtió por el inicio de la crisis económica mundial. E[5]

- **Empleo generado por el transporte aéreo:** en diversos apartados de este capítulo se han proporcionado los datos globales presentes y futuros de empleo del sector aéreo, en este punto baste con reseñar que aproximadamente tan sólo una cuarta parte de los empleos de la industria del transporte pertenecen al sector aéreo propiamente dicho, no obstante y abundando en su importancia, se adjunta un gráfico a modo de ejemplo, en el que se puede apreciar que el número de empleos generado considerando sólo Estados Unidos ya es muy importante. E[6]

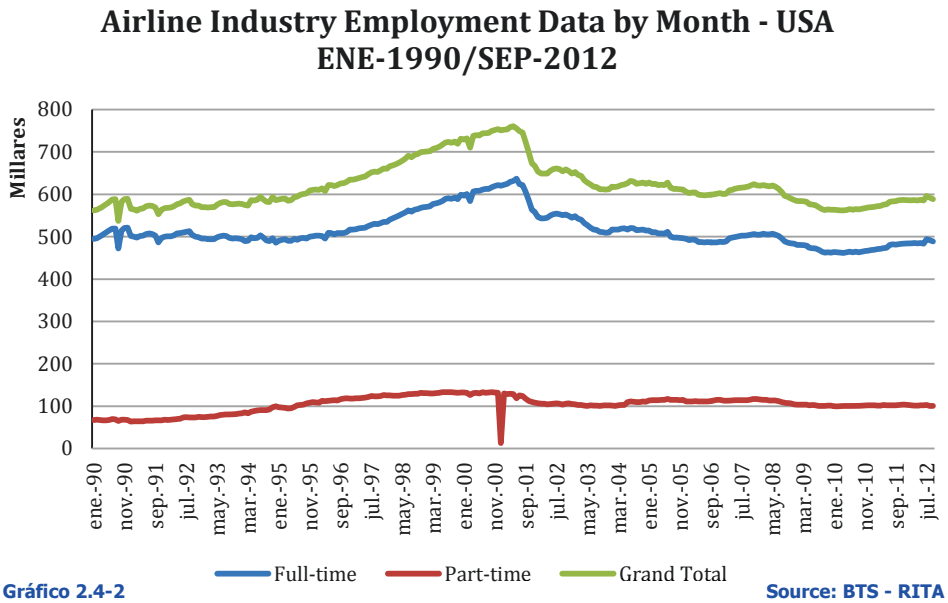


Gráfico 2.4-2 Source: BTS - RITA

2.5. Indicadores clave de productividad y rentabilidad de las aerolíneas.

Sea cual sea la filosofía utilizada, hay que elegir una serie de indicadores que serán medidos, seguidos, planificados y se fijarán como objetivos. Afortunadamente, el transporte aéreo de pasajeros tiene una serie de indicadores clave que son comúnmente utilizados por todas las aerolíneas, los que les hace bastante globales y dan fe de su utilidad.

El caso más famoso que ilustra la importancia de seleccionar los indicadores clave correctos es el de British Airways en los años ochenta. El máximo responsable de la aerolínea, Lord King, contrató a una serie de consultores para que analizasen la situación de la aerolínea, sus fortalezas y debilidades, puesto que tenía prevista una restructuración profunda.

Tras el análisis, los consultores coincidieron en que el factor más crítico y que más peso tenía para los viajeros y para el negocio era la falta de puntualidad de llegadas y salidas de vuelos, por lo tanto habría que centrarse en mejorar ese aspecto. A raíz de este resultado, Lord King dio órdenes de ser notificado cada vez que un vuelo se retrasaba tanto en su salida como en su llegada más allá de un margen tolerable. Esta medida supuso una mejora espectacular en puntualidad de los vuelos, puesto que todo responsable de operaciones de BA sabía que si un vuelo se retrasaba recibiría la llamada de Lord King, pasando así BA a ser la aerolínea con la tasa vuelos puntuales más elevada.

La **Puntualidad** fue elegida como indicador clave de rendimiento. Como puede observarse, la puntualidad no es un indicador financiero, pero como se había indicado anteriormente, para obtener un dimensionado correcto del negocio hay que manejar indicadores financieros y no financieros.

El **listado de indicadores clave de rendimiento** utilizados por las aerolíneas para definir una estrategia, en contra de lo que cabría esperar, no es muy extenso. Y los más importantes y comunes, es decir los principales, pueden ser de carácter financiero o no financiero. En esta tesis se han elegido los siguientes:

- **Horas de avión (Aircraft Block Hours):** este indicador computa, en un vuelo, el tiempo desde el momento en el que el avión completa su embarque y empieza a rodar para el despegue hasta que el avión llega a la puerta de desembarque en destino tras el aterrizaje (es decir es igual al tiempo de vuelo más los tiempos de rodadura en el despegue y el aterrizaje (taxi time)). La cantidad de block hours en un periodo de tiempo da a las aerolíneas un medida del tiempo total que la aeronave ha sido usada en ese periodo.

- **Utilización de la aeronave (Aircraft Utilization):** este indicador mide la productividad de la aeronave. Se calcula dividiendo el indicador Aircraft Block Hours (Horas de avión) entre la cantidad de días que un avión es asignado para dar servicio a una ruta. Se presenta habitualmente en block hours por día.

- **Millas recorridas por los asientos disponibles (Available seat per mile, ASMs):** este indicador es muy utilizado por las aerolíneas como medida básica de capacidad de su flota. Hace referencia a cada milla que recorre cada asiento de un avión, es decir, multiplica el número de asientos para la venta en un avión por las millas voladas, ya estén ocupados o no. También se utiliza en kilómetros como ASKs.

- **Coste por asiento disponible y milla recorrida (CASM - Cost per Available Seat Mile):** es la medida básica y unitaria de coste para una aerolínea y se obtiene tomando todos los costes de operación de la aerolínea y dividiéndolos entre los asientos disponibles por las millas recorridas. Representa cuánto le cuesta a la aerolínea hacer volar una milla a cada asiento de un avión, ya esté ocupado o no.

- **Fiabilidad (Dependability):** medida de solvencia de una aerolínea. Se mide en un periodo de tiempo (un año, un trimestre/cuatrimestre o un mes):
  - **D + 5:** porcentaje de salidas[9] con un retraso máximo de 5 minutos sobre la hora programada.
  - **D + 0:** porcentaje de salidas[9] a la hora programada.
  - **A + 15:** porcentaje de llegadas con un retraso máximo de 15 minutos sobre la hora de llegada publicada.
  - **Ratio de cumplimiento (Completion rate):** porcentaje de vuelos completados sobre los planificados, lleguen a tiempo o no.

[9] *Se considera salida el momento de cierre del embarque en el que el que el avión se pone en movimiento para despegar.*

- **Millas recorridas por pasajeros de pago (Revenue Passenger Miles o RPMs):** esta medida es utilizada para estudiar la intensidad de uso de la flota, es decir el tráfico de pasajeros de la aerolínea. Si el ASM medía la capacidad de la flota, el RPM tiene en cuenta si los asientos están ocupados con pasajeros que han pagado sus billetes, es decir asientos vendidos. Por lo tanto es el valor del número de millas voladas por cada asiento ocupado del avión o flota. También se mide en kilómetros RPKs.

- **Factor de ocupación (Load Factor):** esta medida proporciona la relación de número de asientos ocupados frente a los disponibles. Se puede calcular como el valor del indicador RPMs como porcentaje sobre el indicador ASMs, para un vuelo en particular o para todo el sistema. Representa la proporción de salidas consumadas. Se calcula dividiendo RPMs entre ASMs en tanto por uno o en tanto por ciento. Para un vuelo concreto simplemente se puede calcular como se decía al principio, dividiendo el número de pasajeros de pago entre el número de asientos disponibles.

- **Ingresos de operación (Operating Revenue):** ingresos totales de las operaciones de la aerolínea, provengan de un servicio planificado o no. Las fuentes de estos ingresos incluyen a los pasajeros, la carga, las tasas por exceso de equipaje y cualquier otro ingreso relacionado con el transporte. Para las aerolíneas comerciales, la mayor parte de los ingresos provienen generalmente de los ingresos por el pasaje, pero las LCCs tienen fuertes ingresos por exceso de equipaje, tarjetas de embarque…

- **Ingresos por pasaje (Passenger Revenue):** ingresos que recibe la aerolínea provenientes del transporte de los pasajeros en operaciones planificadas.

- **Rendimiento por pasajero (Passenger Yield):** medida de la tarifa media pagada por milla y por pasajero, calculada dividiendo los ingresos por pasaje (Passenger Revenue) entre los RPMs (Revenue Passenger Miles). Habitualmente se expresa en céntimos por milla y es una medida muy utilizada en las estimaciones de cambios en las tarifas a lo largo del tiempo. El Yield (rendimiento), no se utiliza habitualmente para comparaciones con otros mercado y/o aerolíneas, ya que varía tremendamente con el tamaño del recorrido y no incorpora el load factor (factor de ocupación).

≠ **Ingreso por milla y por asiento disponible (Revenue per Available Seat Mile – RASM):** también llamado ingreso unitario o por unidad, es la unidad de ingresos de una aerolínea. Este indicador es muy importante, puesto que muestra lo eficiente que puede ser un incremento de inversión para aumentar la capacidad de la flota. Se determina dividiendo diversas medidas de ingresos de la aerolínea por ASMs, pudiendo utilizar diferentes factores de ingresos:

- Si son **ingresos por pasaje** (***Passenger RASM):*** será el **PRASM** - ***Passenger Revenue per Available Seat Mile***, que es el siguiente indicador a tratar.
- Si son **ingresos de operación** ***(Operating o Total RASM):*** que se verá también a continuación como ***Total Revenues per Available Seat Mile*** **- TRASM.**

≠ **Ingresos por pasaje por milla recorrida y asiento disponible (Passenger Revenue per Available Seat Mile – PRASM):** se calcula dividiendo los ingresos por pasaje, que figuran en el indicador anterior, entre las ASMs. Es una medida de ingreso unitario, que se refleja en céntimos por milla. Es equivalente al resultado del producto entre el load factor (factor de ocupación) y el yield (rendimiento), indicadores ya explicados.

≠ **Ingresos totales por asiento disponible y milla recorrida (TRASM):** es otra medida de ingresos unitarios. Se calcula dividiendo los ingresos totales por operaciones (Operating Revenues) entre ASMs. La medida se expresa típicamente en términos de céntimos por milla, al igual que la anterior.

≠ **Ingresos por empleado (Revenue per Employee):** es una medida de la productividad de la mano de obra. Se calcula dividiendo los ingresos totales de la aerolínea entre el número de empleados equivalentes a tiempo completo. En Estados Unidos el dato se envía al US Department of Transportation.

≠ **Densidad de asientos (Seat Density):** configuración promedio de asientos en las operaciones de la flota de una aerolínea. Este indicador se obtiene dividiendo el total de ASMs voladas entre la cantidad de millas voladas por todos los aviones. Lo verdaderamente importante para determinar el número de empleados necesarios para atender las operaciones de una aerolínea en particular es el tamaño medio del

avión. Yendo más allá, cuando se habla de las economías de escala, generalmente se está suponiendo que el resto de variables siguen igual, el CASM de una aerolínea disminuye cuando se incrementa la densidad de los asientos (seat density). Para entenderlo mejor, los costes de mantenimiento de dos pequeños motores a reacción de un avión comercial pequeño, generalmente no son mucho menores que los de mantener dos grandes motores a reacción de un avión comercial grande.

≠ **Tamaño de las rutas (Stage-Length):** distancia promedio volada, medida en millas oficiales, por avión despegado. El indicador se calcula dividiendo las millas totales voladas por todos los aviones entre el número total de aviones que parten.

≠ **Tamaño de las rutas ajustado (Stage-Length Adjustment):** este indicador soluciona el problema de la vinculación de determinados indicadores al tamaño de las rutas. Se ha comprobado que siendo el resto de variables igual, si se incrementa el tamaño de las rutas (STAGE LENGTH) y se tienen los mismos costes fijos, cuando estos costes fijos son distribuidos, a medida que se incremente y aumente el tamaño medio de los vuelos, la misma aerolínea tendrá menores valores en los indicadores CASM, RASM y YIELD. Esto supone un hándicap para comparar aerolíneas e incluso dos etapas de la misma aerolínea si la longitud de sus rutas ha variado considerablemente. Por ello, para poder comparar apropiadamente estos indicadores es necesario prefijar un valor acordado y común de tamaño de ruta, de forma que se puedan obtener los valores de CASM, RASM y YIELD ajustados a este valor estándar. Evidentemente estos valores de los indicadores no serían los reales de las aerolíneas, pero permitirían comparar a unas con otras, ya que se elimina la influencia del tamaño de las rutas como un factor diferencial y permite analizar el resto de los factores. Lógicamente habrá que ir comprobando en el desglose de costes de una aerolínea qué categoría de coste varía con el tamaño de la ruta y cómo lo hace para corroborar la validez del ajuste.

≠ **Precio del combustible:** diferente del precio del barril de petróleo pero ligado a él.

≠ **Índice de precios del pasaje:** el índice de precios por pasaje de origen estadounidense (o Air Travel Price Index – (ATPI) por sus siglas en inglés) mide los cambios del coste de itinerarios originado en los Estados Unidos hacia destinos nacionales (domestics) o internacionales. Se incluye porque la muestra de aeronaves

utilizada en la segunda parte de la tesis para los indicadores clave de las aerolíneas, está sacada de los datos estadísticos de las aerolíneas estadounidenses. E[4]

- El **ATPI- Foreign** mide el cambio de coste de itinerario con un origen extranjero y destino americano.
- El **Full-Scope ATPI** combina vuelos nacionales y vuelos de origen extranjero. Este indicador es el que más celosamente guardan las aerolíneas.

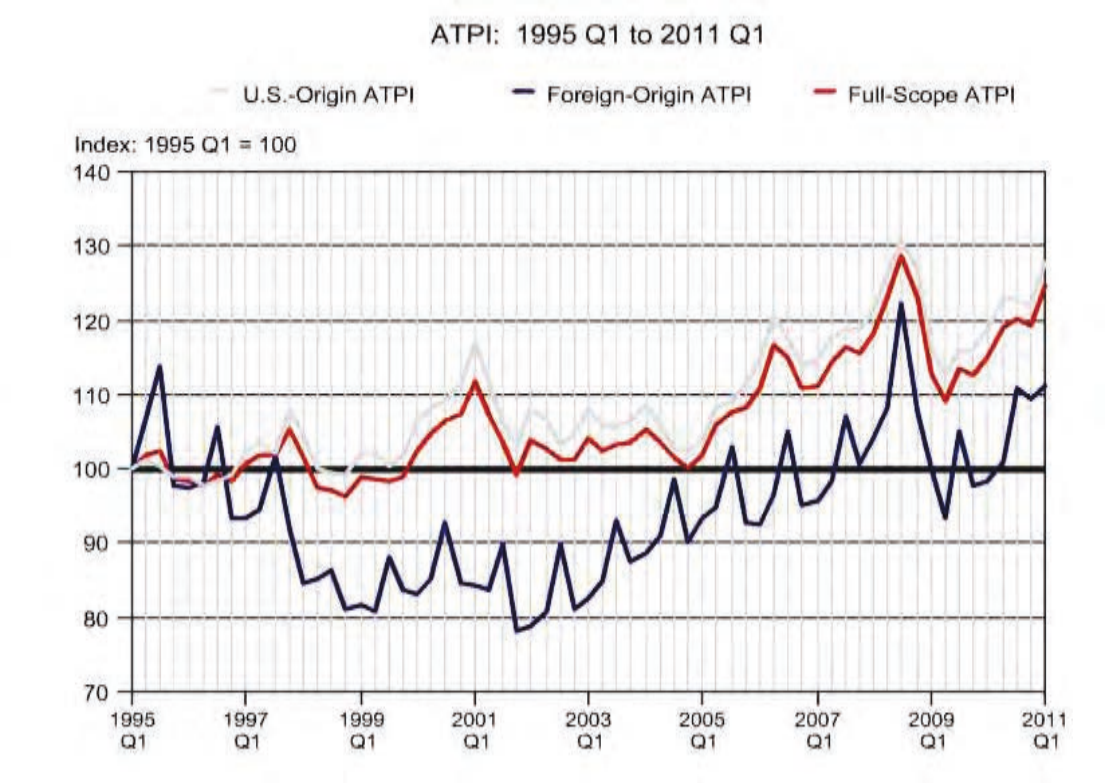


Gráfico 2.5-1 Source: Bureau of Transportation Statistics

El Air Travel Price Index (ATPI), está estadísticamente documentado en cambios cuatrimestrales en los precios de las aerolíneas desde el primer cuatrimestre de 1995. La medida de los cambios en el índice se ha configurado usando los precios de los billetes de diferentes aerolíneas en rutas idénticas, idénticas clases o servicios cuatrimestre a cuatrimestre.

≠ **Beneficios Tonelada-Milla:** pese a no ser objeto de estudio la industria del transporte aéreo de carga en esta tesis doctoral, merece la pena mencionar este indicador por su importancia. Como posteriormente se comentará, se deja como campo para estudios futuros el análisis análogo en el sector de transporte aéreo de

carga, que implica una parte muy importante del negocio del transporte aéreo y que es muy demandado para cargas muy urgentes o de gran valor.

≠ **Puntualidad:** el índice de vuelos que llegan puntuales es una medida de la calidad del servicio. Este indicador es fuertemente estacional, reflejándose habitualmente en los datos el descenso de puntualidad por el mal tiempo en los meses de invierno en las diferentes partes del globo.

Varios de estos indicadores, muy estimados por las aerolíneas, como el precio del combustible, la puntualidad o la fiabilidad, en el marco de este estudio no tendrán relevancia, ya que se considera que no se ven afectados por las características de la aeronave. La política de aprovisionamiento de combustible de la aerolínea, las fluctuaciones de su precio en los mercados internacionales, el diseño de las operaciones en tierra o la interacción con otras compañías en los aeropuertos, son más relevantes que las características de la propia aeronave.

2.6. Estructura de los costes de explotación de las aeronaves comerciales.

Como se explicó en el apartado 2.1, el sector del transporte aéreo estaba muy intervenido por los estados. En aquellos momentos se fijaban los derechos de tráfico, las tarifas, las subvenciones, los acuerdos entre compañías, las fusiones, los estándares de calidad, las frecuencias de vuelo, etc. En el año 1973 y con Gerald Ford como presidente de los Estados Unidos, debido a la primera crisis del petróleo y a los problemas estructurales de gestión pública estadounidense, se puso de manifiesto la necesidad de liberalización, entre otros, el sector comercial aéreo. La finalidad buscada con la liberalización del sector era la libre concurrencia de operadores, que se correspondería con una serie de efectos beneficiosos, como la eficiencia, incrementos de frecuencias y menores precios.

El aumento de la competencia entre aerolíneas en todo el mundo, hizo fundamentales para conseguir la rentabilidad, el control de costes operativos y la mejora de la productividad. Precisamente, la aparición y el rápido crecimiento de las compañías de "bajo coste" se debe en gran parte a su capacidad para ofrecer servicios de transporte aéreo a unos precios sustancialmente menores, lo que les obliga a conseguir unos costes mucho más bajos y con mayores niveles de productividad que las aerolíneas tradicionales (legacy airlines). Como respuesta, las aerolíneas tradicionales han tenido que encontrar maneras de reducir los costes operativos y mejorar su eficiencia a la hora de gestionar sus aviones y sus empleados.

Este apartado está dedicado al análisis de los costes operativos de las aerolíneas y su desglose cualitativo y cuantitativo. En el estudio de las fuentes de los costes se han utilizado prioritariamente los datos obtenidos del US Department of Transportation (DOT) Form 41 Traffic and Financial Statistics E[7] E[8] E[9]. El objetivo será categorizar los costes, estudiarlos en detalle, incluido el desglose del total gastos de la aerolínea por categoría, comparando, para entenderlo mejor, la estructura de los costes de operación entre las aerolíneas tradicionales y las de bajo coste, así como el peso en cada una de las diferentes categorías. En la parte final del apartado, se hará hicapié en el protagonismo que ha tomado el precio del combustible, con la incesante subida de la última década, analizando el efecto de esta partida junto con la partida de costes de mano de obra en diferentes tipos de

aerolíneas tanto norteamericanas como europeas y para diferentes modelos de avión y recorrido medio.

CATEGORIZACIÓN DE COSTES DE UNA AEROLÍNEA

Se ha elegido el –US Department of Transportation (DOT) Form 41 database (US DOT, 2007)" porque el volumen y el detalle de los datos recopilados en esta base de datos, especialmente los datos relativos a los costes de explotación de la aerolínea, es incomparable a cualquier otra base de datos disponible al público en los Estados Unidos o en cualquier otro lugar del mundo. De hecho, ningún otro país pone a disposición del público datos tan detallados de los costes de operación (porque estarían a disposición de las aerolíneas de la competencia). Existen algunas fuentes públicas de datos de costes con niveles de agregación sustancialmente mayores, como los informes anuales de OACI de "Serie F" datos financieros (ICAO, 2007a), a los que se hará referencia para ilustrar las diferencias en la clasificación de costes y al comparar las tendencias de costes totales de funcionamiento de las aerolíneas del mundo.

En la base de datos del Form 41, se encuentran los datos aportados por las aerolíneas estadounidenses y son publicados trimestralmente para la mayoría de las tablas. El detalle de la información difiere según las categorías de los diversos gastos. Por ejemplo, las compañías aéreas están obligadas a presentar el informe de gastos de operación por tipo específico de aeronave (por ejemplo, Boeing 757-200) y región (por ejemplo, nacionales, América Latina, Atlántico y Pacífico), para cada trimestre del año. Otros gastos que son más difíciles de asignar por tipo de aeronave, como los costes de funcionamiento en tierra, asociados con la gestión de pasajeros y equipaje en el aeropuerto, se reportan como los totales de todo el sistema.

Aunque los requisitos de información del Form 41, desde sus inicios en la década de 1940, intentaban imponer un "sistema uniforme de cuentas" (Civil Aeronautics Board, 1942), las aerolíneas siguen empleando métodos de contabilidad y costes con esquemas de asignación que no siempre pueden ser completamente "uniformes". En consecuencia, las diferencias de costes de funcionamiento entre aerolíneas, o las tendencias anuales de los costes, puede en algunos casos atribuirse tanto a diferencias en las normas de contabilidad de costes como a diferencias reales en gastos de funcionamiento.

Una primera aproximación a la categorización de los costes de una aerolínea sería usar las **"categorías administrativas de los costes",** que son típicas de los estados financieros utilizados en la contabilidad de muchas industrias. Estas categorías administrativas de los costes figuran en la base de datos de Form 41 y se incluyen en los siguientes informes independientes:

- **Personal:** salarios y el resto de beneficios adicionales que se asignan a todo el personal, incluyendo la dirección general, el personal de vuelo, los trabajadores de mantenimiento, lo que se denomina personal del *–aircraft & traffic handling"* [10] o cualquiera relacionado.
- **Compras:** materiales comprados, por ejemplo, combustible y aceite de los aviones, los materiales de mantenimiento o los alimentos de los pasajeros.
- **Subcontratas:** servicios contratados, como publicidad y promoción, comunicaciones, seguros, operaciones de mantenimiento subcontratadas, encargos o cualquier otro servicio contratado.
- **Otros:** Tasas de otras categorías relacionadas con el aterrizaje y desembarque en un aeropuerto, alquileres (incluyendo aviones), depreciaciones (incluyendo aviones) y cualquier otro gasto no categorizado aún.

Esta clasificación administrativa de costes es típica de los estados financieros, como informes sobre fondos gastados en la mano de obra (salarios), materiales y servicios utilizados como inputs para la "producción" de los outputs de la aerolínea. La figura 2.6-1 muestra una clasificación administrativa de los costes de una aerolínea, según los datos suministrados por las aerolíneas estadounidenses y que figuran en el Form 41 de 2007. Aunque consistente con los principios generales de contabilidad, permite la categorización administrativa de los costes para un análisis más detallado de las actividades concretas que integran la operación de la aerolínea y su contribución a los gastos de la aerolínea.

[10] *Se refiere a todo el personal de tierra que se dedica a trasladar a los pasajeros, a llevar a los aviones hasta sus plataformas de estacionamiento o terminales, manipulación de finger, manipulación de equipajes y cargas.*

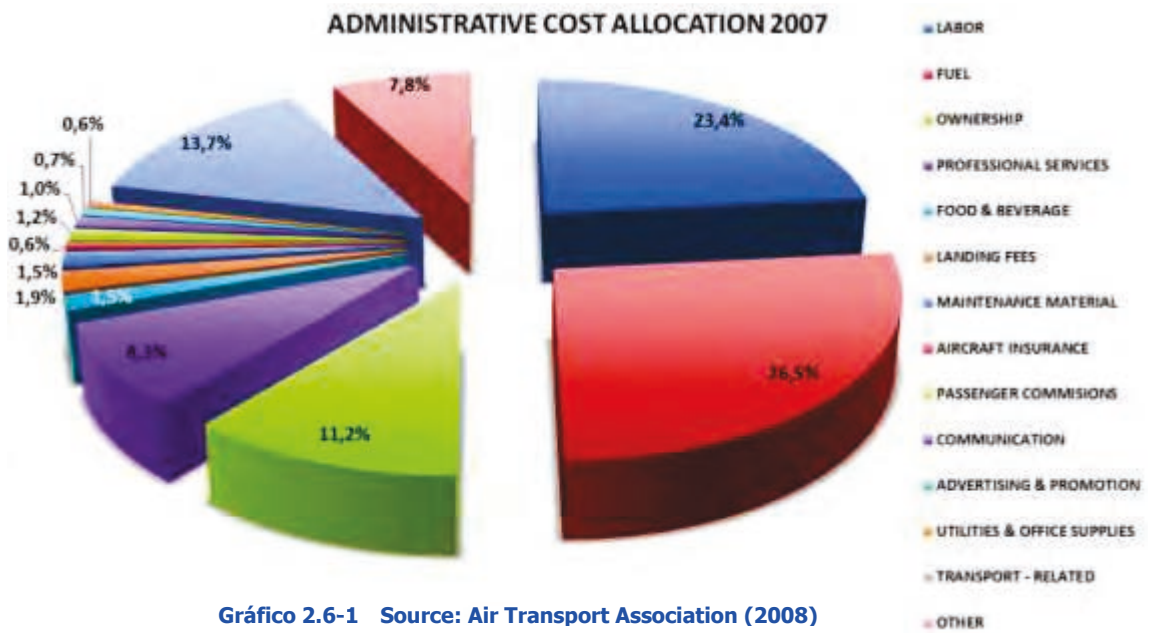


Gráfico 2.6-1 Source: Air Transport Association (2008)

Lamentablemente, el estado de agregación de los costes en esta clasificación impide conocer de manera independiente algunas partidas muy importantes. Por ejemplo, la categoría de "salarios y resto de beneficios o prestaciones" no permite separar subconjuntos importantes que están englobados en esta categoría, en particular los costes de la tripulación de los aviones. En la práctica, los costes totales de operación de los aviones incluyen elementos de sueldos (pilotos, personal de mantenimiento), materiales (combustible, piezas de repuesto) y servicios (seguros). Bajo la clasificación administrativa de costes, es difícil separar los componentes de los salarios, materiales y servicios que están explícitamente relacionados con la operación de las aeronaves, en oposición a las operaciones de tierra, por ejemplo. Aunque si que permite apreciar que el 50% de los costes de una aerolínea vienen del personal y del combustible, algo muy significativo y que como se verá ha ido aumentando con la subida de precios del combustible.

Un enfoque alternativo de la clasificación de los costes operativos de una aerolínea pasa por definir categorías de costes "funcionales", de manera que se asignan los costes a diferentes funciones dentro de la operativa de la aerolínea. Específicamente, las tres categorías de mayor coste funcional para las compañías aéreas son:

- ≠ los costes operativos de vuelo,
- ≠ los costes operativos de tierra y
- ≠ costes de explotación (Simpson y Belobaba, 2000).

Los **costes operativos de vuelo** incluyen todos los gastos asociados con la operación de las aeronaves y también se conocen como "costes directos de operación" (DOC) o "costes de operación de aeronaves." Los **costes operativos de vuelo (FOC: Flight operating costs)** representan la mayor proporción de gastos de funcionamiento de la aerolínea (normalmente alrededor de la mitad) y se asignan generalmente contra el número o cantidad de *—blockhours"* [11], operado por la flota de la aerolínea. En la base de datos del Form 41, se considera que los costes de las siguientes actividades o partidas, son los costes que constituyen los FOC:

- **Operaciones de vuelo:** los costes de esta actividad o partida engloban los "gastos incurridos directamente en la operación durante el vuelo de aeronaves" (US DOT, 2007), incluyendo todos los costes asociados con el combustible y la tripulación de vuelo.
- **Mantenimiento:** se refiere a los gastos de mantenimiento, es decir, todos los gastos, directos e indirectos, específicamente identificables con la reparación y el mantenimiento de aviones y equipos (US DOT, 2007). Esta partida incluye mantenimiento diario o de rutina y las principales revisiones más extensas, con costes que en gran parte se incurren por el uso intensivo de mano de obra y el consumo de piezas de repuesto.
- **Depreciación y amortización:** esta partida distribuye en función de la vida útil del inmovilizado, el coste de capital de activos de la aerolínea – específicamente, aviones.

Los **costes operativos en tierra** incluyen el estacionamiento en el aeropuerto, la gestión de los pasajeros, la carga y los aviones. Además incluye por parte de la aerolínea la gestión de reservas, la venta presencial de billetes y la prestación de servicios de transporte al cliente. Los tres componentes principales del coste operativo en tierra son:

- **Costes** incurridos por el **manejo de aeronaves en tierra**, incluyendo tasas de aterrizaje de aviones o **tasas aeroportuarias**.
- **Costes de gestión del tráfico de pasajeros, equipajes y carga** en los aeropuertos.
- **Costes asociados con promoción y ventas**, con centros de reservas de la aerolínea y venta de billetes, incluidas las comisiones de agencias de viajes y gastos ocasionados por el sistema de distribución.

[11] *Block-hours: suma del tiempo de vuelo y el tiempo de rodadura de cada vuelo, que cuando se contabiliza para un periodo de tiempo, mide las horas totales que una aeronave o flota ha estado en uso en ese periodo de tiempo.*

Los **costes de explotación o costes de operación del sistema** son los costes indirectos de operación que restan después de que se contabilizan los costes de operaciones en tierra. No están directamente asociados con la prestación del servicio de transporte, son más un gasto general corporativo. Por ejemplo, los costes de publicidad que buscan aumentar los ingresos del sistema o los gastos ocasionados por el servicio de pasajeros a bordo que incluye los costes de los alimentos, el entretenimiento y la tripulación de cabina que presta un servicio directo al cliente. También se deben considerar aquí los gastos administrativos, que son gastos de carácter corporativo para el sistema de la aerolínea al completo (excluyendo los de gestión del mantenimiento) o los gastos derivados de la dirección general. Los principales componentes de los costes operativos del sistema pueden resumirse como sigue:

- **Costes del servicio a los pasajeros**, incluyendo comidas, auxiliares de vuelo y servicios durante el vuelo.
- **Costes de publicidad.**
- **Gastos generales y administrativos** que son verdaderamente generales en la aerolínea o aquellos que no pueden ser asociados a una actividad particular.
- Las **partidas de gastos diversos relacionadas con el transporte,** que son los costes asociados con los ingresos atípicos generados con actividades relacionadas con el transporte (US DOT, 2007). Incluyen, por ejemplo, honorarios pagados a socios de aerolíneas regionales que proporcionan servicios aéreos regionales, gastos de exceso de equipaje y resto de gastos de difícil catalogación que se incluyen en un capítulo de varios.

La figura 2.6-2 muestra la clasificación por categorías funcionales de los costes de funcionamiento informados por las aerolíneas norteamericanas a US DOT para el año 2007 como una comparación directa con la clasificación administrativa de la figura 2.6-1. Para resumir, los esquemas de categorización administrativa de costes y la funcional reflejan dos enfoques diferentes para el reparto de los costes de operación de una aerolínea. Aunque el enfoque administrativo es útil en los informes financieros y análisis relacionados, es la categorización funcional la que permite realizar comparaciones de coste más detalladas entre las líneas aéreas e incluso entre los diferentes tipos de aviones.

Gráfico 2.6-2 Source: Air Transport Association (2008)

La distribución de los gastos de funcionamiento de la aerolínea por categoría funcional de coste depende, por supuesto, de las definiciones específicas de los elementos de coste que se incluirán en cada categoría. Puede haber diferencias entre las categorizaciones de coste utilizadas por entidades diferentes, dependiendo de sus perspectivas y su histórico de análisis de costes.

Se puede considerar que la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI/ICAO) ha proporcionado históricamente lo que puede considerarse un estándar mundial de categorización de costes para una aerolínea, ya que requiere de sus estados miembros que envíen los datos de costes de operación anuales de sus aerolíneas en un formulario estandarizado (además de varios datos de tráfico y financieros). Las categorías de coste de OACI se resumen en la TABLA 2.6-1 y son en muchos aspectos similares en estructura a las categorías funcionales US DOT Form 41 y los esquemas de asignación utilizados por las compañías aéreas y las autoridades gubernamentales de todo el mundo.

Sin embargo, existen algunas diferencias. La más relevante para la comparación detallada con las aerolíneas norteamericanas que aparecen en el US DOT Form 41, es la mayor agregación de costes de las categorías propuestas por OACI. Por ejemplo, los datos que en OACI figuran en la categoría —mantenimiento", en el Form 41, aparecen desagregados en —coste directo del mantenimiento de aeronave", —coste directo del mantenimiento de los motores" y carga de los costes mantenimientos sobre todas las subcategorías. A diferencia

de la OACI que agrupa todos los costes en mantenimiento y revisión en una única categoría de coste. En general sin embargo, los —ostes directos operativos de un avión" que obtiene OACI, si son comparables con los —ostes de operación en vuelo" de la clasificación funcional del Form 41.

Direct Aircraft Operating Cost	
≠	**Flight Operations (Total)**
	Flight Crew
	Fuel and Oil
	Other
	Maintenance and Overhaul
	Depreciation and Amortization
Indirect Operating Cost	
≠	**User charges and station expenses (Total)**
	Landing and associated airport charges
	Other
	Passenger services
	Ticketing, sales and promotion
	General, administrative and other

Tabla 2.6-1 Categorías OACI de los costes de Operación de las aerolíneas.
Source: Adapted from ICAO (2007)

También en las categorías de costes operativos indirectos, el enfoque es más global y más agregado, lo cual dificulta la comparación y los promedios, ya que no existe ninguna definición estándar. Una vez se fije una categorización, se puede estudiar la evolución continua de los valores, que es la verdadera herramienta de seguimiento, comparación y mejora de las aerolíneas. En la tabla 2.6-2 de OACI se presentan los valores de los años 1.992, 2.002 y 2.005 y en la Figura 2.6-3 se compara la distribución en el año 2000 y la distribución en el año 2004, según los datos del US DOT Form 41.

ICAO OPERATING COST CATEGORIES	1992	2002	2005
Direct Aircraft Operating Costs	**44.0**	**49.1**	**54.0**
Flight Operations (Total)	26.1	30.7	37.7
Flight Crew	7.2	9.0	7.8
Fuel and Oil	12.2	13.0	21.9
Other	6.7	8.7	8.0
Maintenance and Overhaul	10.9	11.3	10.2
Depreciation and Amortization	7.0	7.1	6.1
Indirect Operating Costs	**56.0**	**50.9**	**46.0**
User charges and station expenses (Total)	17.2	17.0	16.2
Landing and associated airport charges	3.9	4.0	3.8
Other	13.3	13.0	12.4
Passenger services	10.8	10.3	9.3
Ticketing, sales and promotion	16.4	10.7	9.1
General, administrative and other	11.6	12.9	11.4

Tabla 2.6-2 World airline cost distributions, 1992-2005.
Source: ICAO (2007b)

A simple vista destaca el fuerte incremento porcentual de la partida que supone el combustible entre los años 1992 y 2005 (pasa de 12,2% al 21,9%) y la caída del porcentaje sobre el total de los costes de emisión , venta de billetes y publicidad, (que pasa del 16,4% al 9,1%).

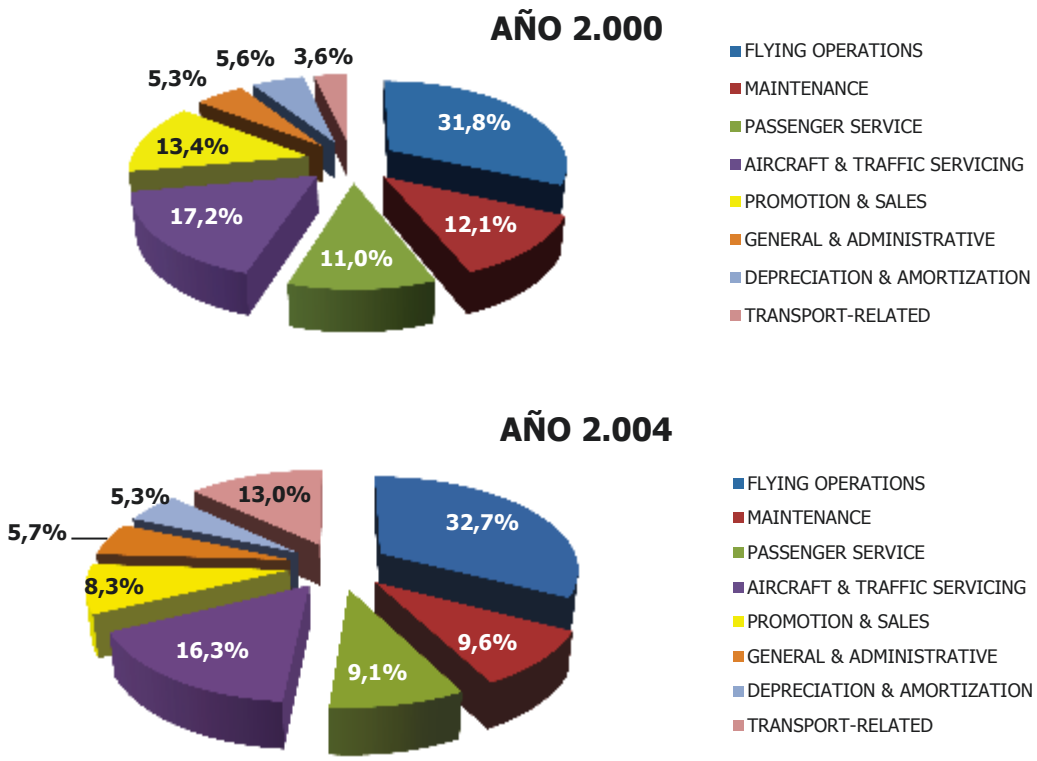


Gráfico 2.6-3 US Airline operating cost breakdown, 2000 and 2004
Source: Strina (2006)

En la figura 2.6-3, no se aprecia tan claramente por el estado de agregación de las partidas. Además de la evolución temporal de las partidas de coste, también es muy interesante la comparación entre aerolíneas con diferentes filosofías de explotación. Especialmente interesante resulta el contraste entre las aerolíneas de bajo coste y las aerolíneas tradicionales, en la fig. 2.6-4a, se comparan una aerolínea de bajo coste con una aerolínea de las llamadas tradicionales y el promedio de las aerolíneas más importantes (en inglés —low-cost carriers" (LCCs) o -low-fares", -legacies carriers" (NLCs) y All Majors).

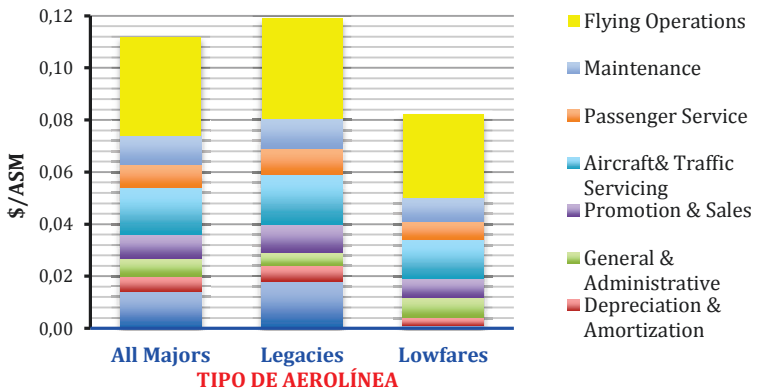


Gráfico 2.6-4a Unit Costs by Functional Category 2004
Source: Dr. P. Belobaba- Operating Costs and Productivity Measures-16.75J/1.234J - MIT/ICAT Feb-2006

Como se puede ver, para hacer esta última comparativa entre modelos de negocio en el mundo de las aerolíneas, en lugar de hablar de porcentajes sobre los costes totales, se ha utilizado el KPI (indicador clave de rendimiento), denominado CASM (Cost per Available Seat Mile), indicador de referencia explicado en el apartado anterior. Si se revisan estos costes en porcentaje sobre el total se ve que en las LCC los costes relacionados con el transporte se reducen drásticamente.

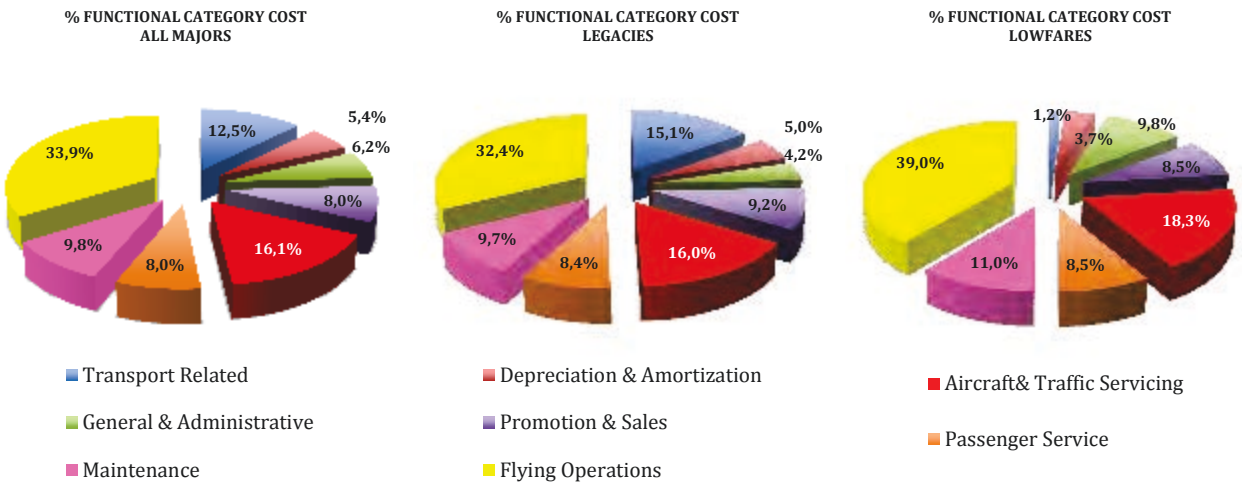


Gráfico 2.6-4b % Costs by Functional Category 2004
Source: Dr. P. Belobaba- Operating Costs and Productivity Measures-16.75J/1.234J - MIT/ICAT Feb-2006

Desde el comienzo del apartado, cuando se hablaba de la primera clasificación administrativa de los costes, hasta los estudios de evolución temporal y/o modelo de negocio, se ha manifestado como fundamental observar la incidencia de dos partidas de coste muy diferenciadas, que son el combustible y el personal. Se veía en la tabla 2.6-2 de OACI, que el peso del precio del combustible había subido casi un 10%, llegando a ser en 2005 un 21,9% del total de costes de la aerolínea. El precio ha seguido subiendo, de manera que en el gráfico 2.6-5 se puede apreciar que desde diciembre de 1992 a diciembre de 2012, el precio del combustible para aviación ha subido un 444,44%, lo que le convierte en un elemento capital del coste.

En el informe *"Growth Airline Economic Analysis"* de Oliver Wyman, publicado en enero de 2009, se puede observar a la vez, la evolución temporal de los costes, indicando expresamente las dos partidas de coste que se han considerado clave, comparadas en los distintos tipos de aerolíneas o modelos de negocio, gráfico 2.6-6. Se puede ver la diferencia entre las aerolíneas en red o tradicionales "Network" y las de bajo coste "Value" y observar

como va creciendo el porcentaje que supone el combustible (pasa del 13-18% en 2003 a un 40% en 2008) a costa de mejoras de productividad, bajan la partida de personal (41-37% a 22-26%) y el capítulo de otros, en los que ya se vio cómo disminuían los costes de emisión, venta de billetes y publicidad.

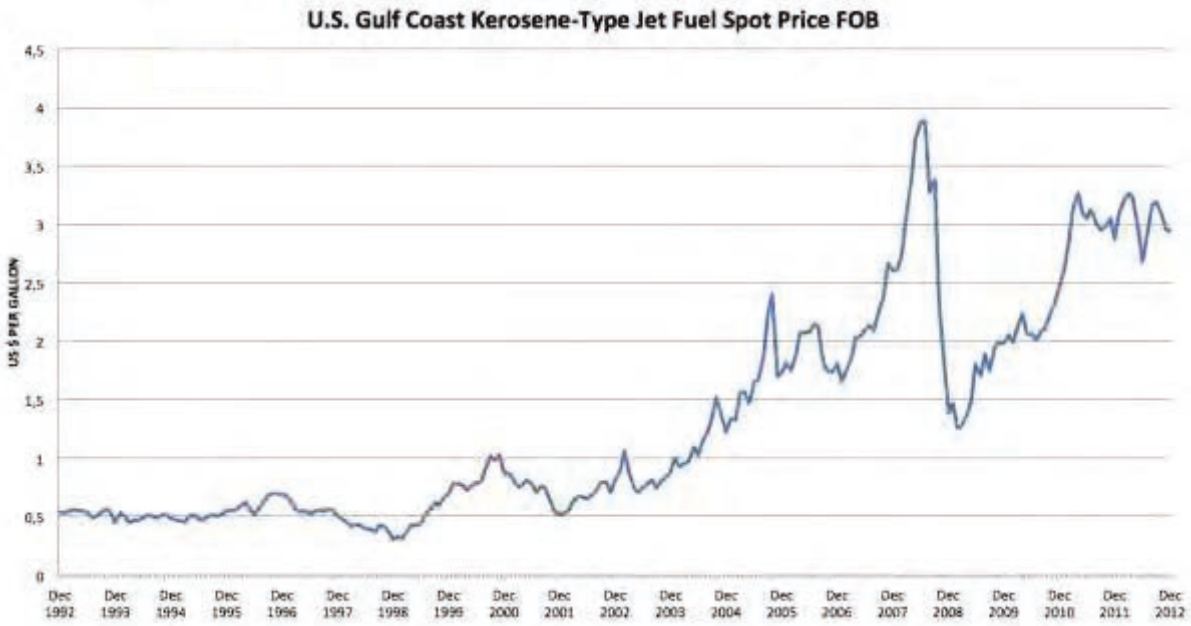
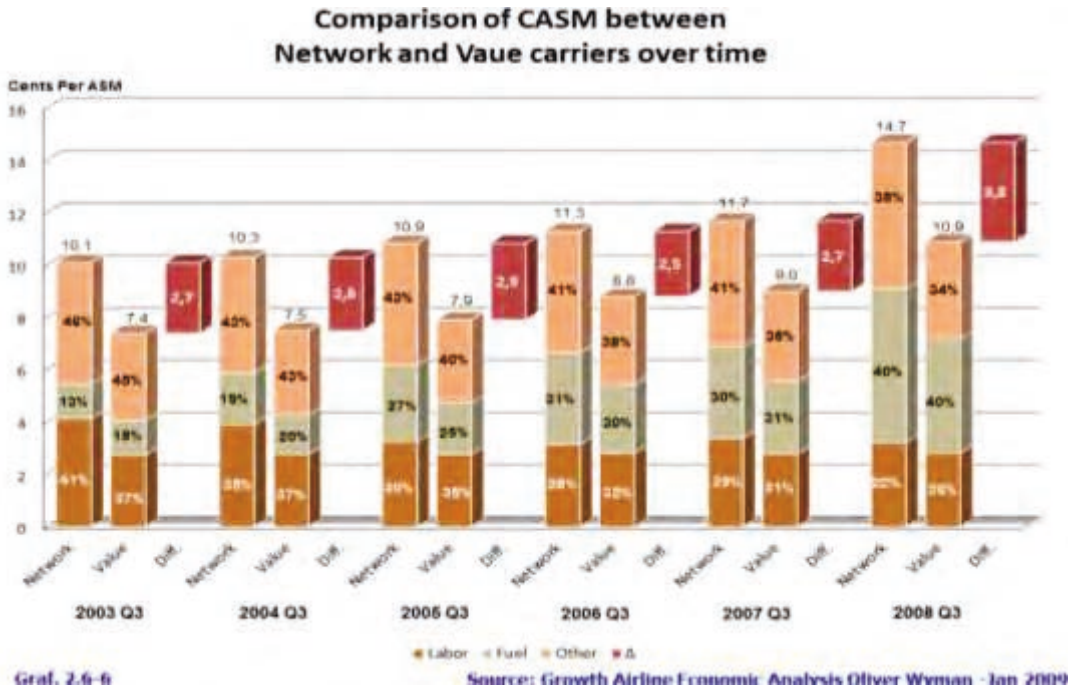
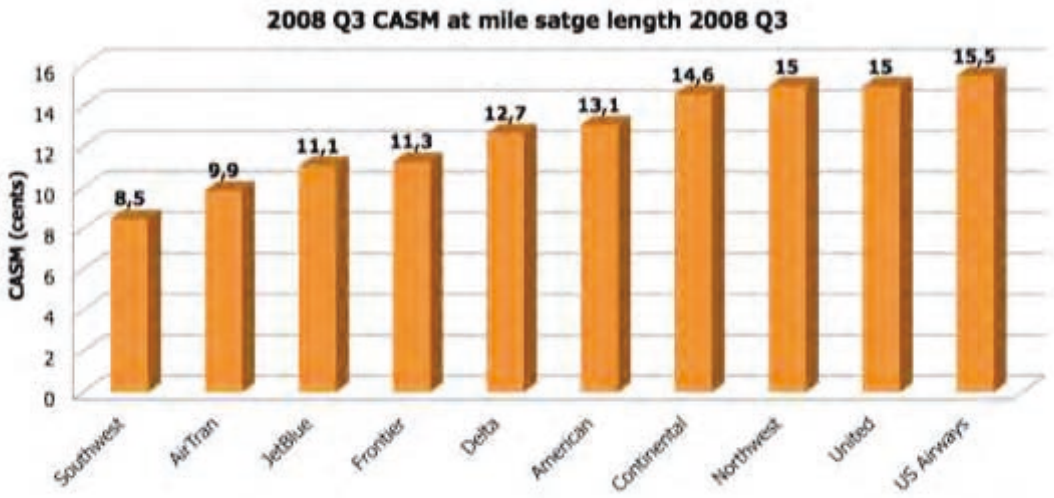


Gráfico 2.6-5 U.S. Gulf Coast Kerosene-Type Jet Fuel Spot Price FOB, US$ per gallon
Source: US Energy Information Administration - January 07, 2013

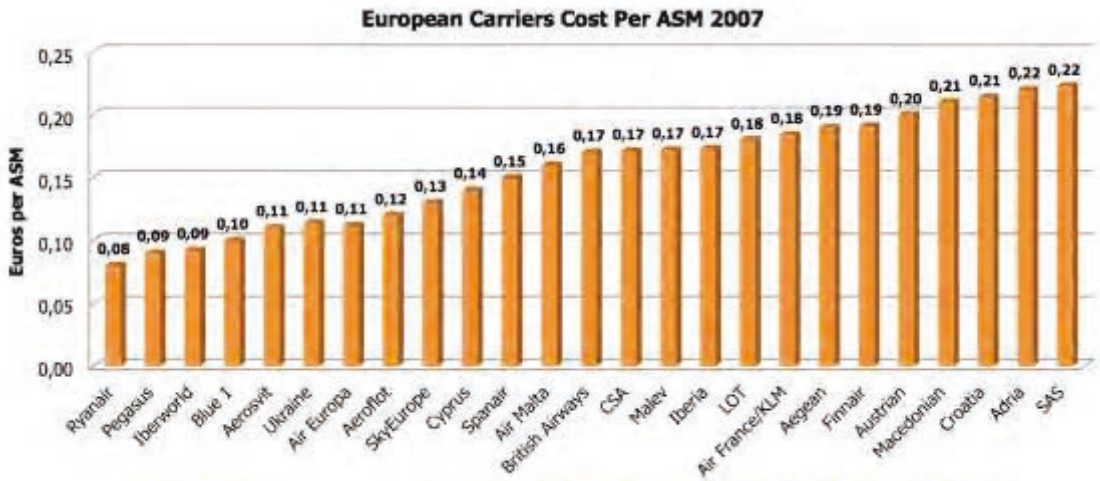


Graf. 2.6-6 Source: Growth Airline Economic Analysis Oliver Wyman - Jan 2009

En el gráfico 2.6-7a se puede apreciar el valor del indicador CASM para las principales aerolíneas norteamericanas en comparación con el gráfico 2.6-7b, en el que aparece el valor de dicho indicador para las principales líneas europeas.



Graf. 2.6-7a Source: Growth Airline Economic Analysis Oliver Wyman -Jan 2009

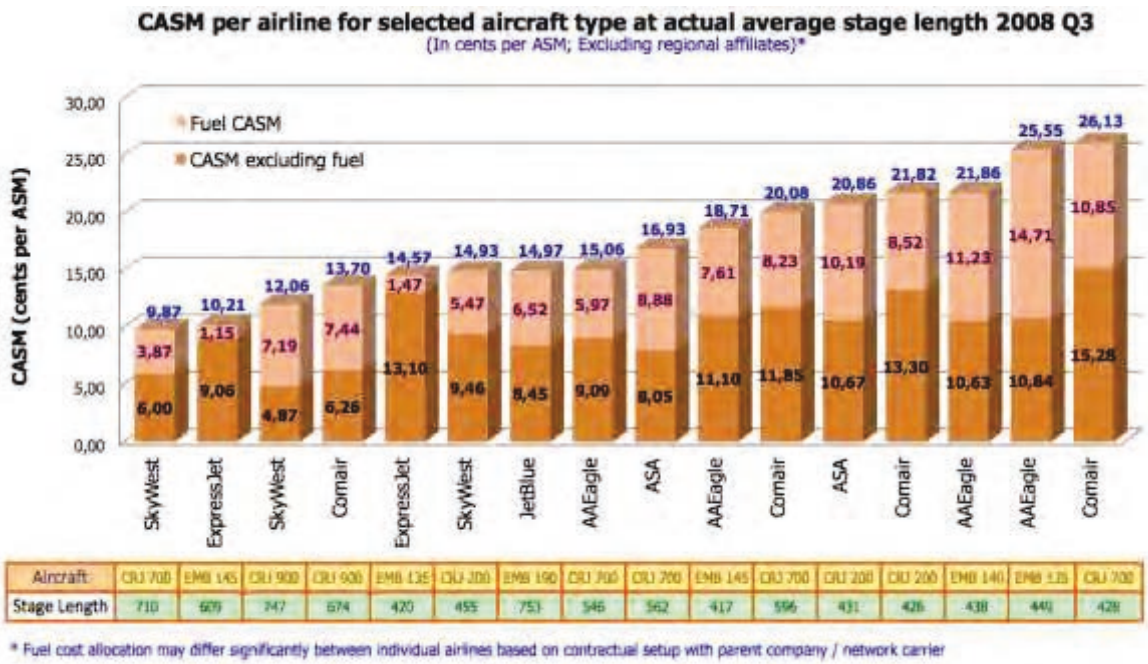


Graf. 2.6-7b Source: Growth Airline Economic Analysis Oliver Wyman -Jan 2009

Note: Cost data reported on fiscal year basis, not year end 2007 in all cases.
Source: IATA WATS 2007

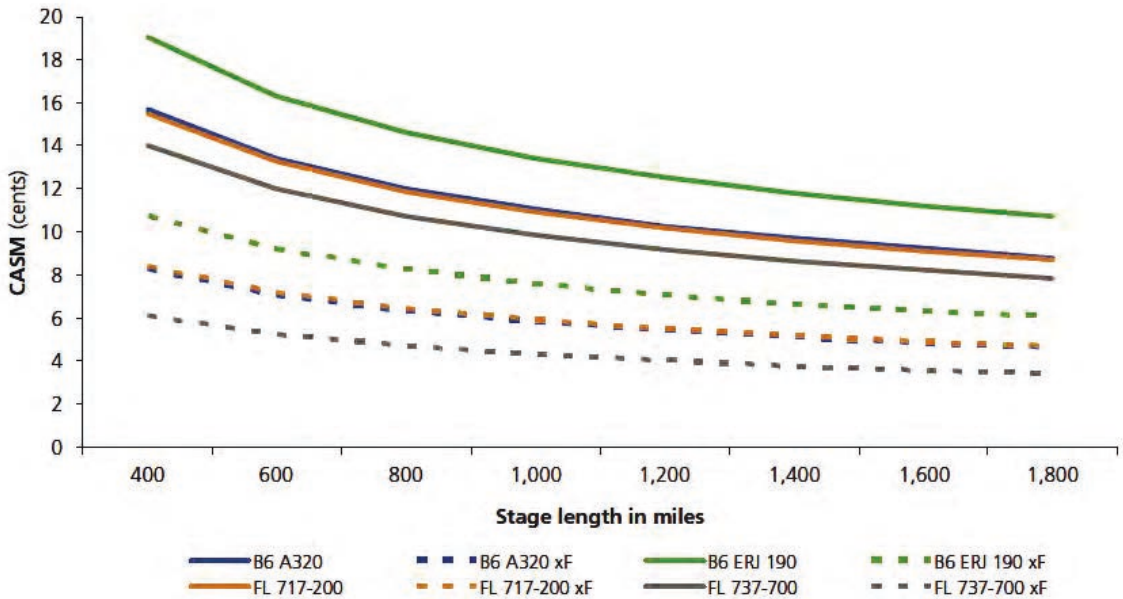
Teniendo en cuenta que el gráfico 2.6-7a está en céntimos de dólar y referido a 2.008 y que las europeas, gráfico 2.6.7b, está en euros y referido a 2.007, es más fácil apreciar que las empresas europeas son menos competitivas en general.

Profundizando un poco más, Oliver Wyman calcula el CASM, incluyendo y sin incluir el combustible, para la aeronave tipo y el recorrido tipo de las principales compañías norteamericanas, gráfico 2.6-8, donde se puede ver la influencia que tiene el recorrido y la aeronave en este parámetro.



Graf. 2.6-8 **Source: Growth Airline Economic Analysis Oliver Wyman -Jan 2009**

Gráfico 2.6-9 CASM plotted against average stage length, actual fuel prices 2008 Q3 **OLIVER WYMAN**



Distance-based Cost Curves for two Carriers Operating New Jet Aircraft in the 100 – 120 seat Category for various aircraft types including and excluding fuel costs: B6: jetBlue; FL: AirTran; xF: excluding Fuel

Además en el gráfico 2.6-9, se puede ver como los costes por ASM, bajan a medida que se aumenta la distancia recorrida. Tanto el parámetro de consumo, como el de tamaño, como el de distancia recorrida, tienen que ver con la arquitectura, diseño y la planta de potencia de aeronave. Todos ellos parámetros caracterizadores de la aeronave, por lo que previsiblemente se va a poder establecer correlación a lo largo de esta tesis, entre dichos parámetros y el indicador más importante de los costes de una aerolínea, el CASM.

2.7. Planificación de flotas: proceso de selección de las aeronaves en las aerolíneas.

Uno de los objetivos de esta tesis es que el modelo obtenido pueda servir a las aerolíneas para tener un dato más que les ayude en el proceso de planificación de su flota, es decir, predecir qué aeronaves y en qué número configurarán su flota para atender la demanda en función de sus previsiones comerciales o su estrategia empresarial en un horizonte temporal determinado, normalmente entre 7 y 10 años.

Es un hecho que las aerolíneas asumen que su flota de aviones es un recurso cambiante y vivo sujeto a muchos condicionantes. Desde un punto de vista estrictamente matemático, la planificación de flotas en una aerolínea no es más que un problema de optimización y, como todos los problemas de optimización, la composición óptima de una flota sólo es válida para las condiciones en que se plantea la función a optimizar y sus restricciones, y cambiará ante cualquier variación de las condiciones en que se realizó el modelo de optimización. Es decir, con cualquier adquisición de una aeronave, bien porque varíen en número o en características, con cualquier retirada del servicio de alguna que ya no se necesite o se cree conveniente eliminar, o simplemente con que cambien las condiciones de contorno de la propia aerolínea, el óptimo será diferente. Por todo ello, un Plan de Flota correctamente diseñado debe evidenciar una estrategia temporal con diferentes plazos, en la que se incluirán la flota actual, el calendario de entregas futuras y el calendario de retirada de las que ya no vayan a formar parte de la flota, además, debe ser coherente con las previsiones económico-financieras y comerciales de la compañía y debe contemplar planes de contingencia para permitir flexibilidad en la planificación de flota fijada, dada la tremenda incertidumbre sobre las condiciones futuras del mercado.

Pero, ¿cuáles son los factores más importantes que afectan a la selección de un tipo de aeronave por parte de una aerolínea?:

- ≠ Parece que lo primero que se debe tener en cuenta son las diferentes categorías de aviones comerciales y las características diferenciales que presentan, el catálogo.
- ≠ Y una vez se conozca la oferta, habrá que discutir los criterios de selección de aviones específicos, como criterios técnicos, características de rendimiento, economía de las operaciones y capacidad de generar ingresos, cuestiones medioambientales y de marketing, y, por último, consideraciones de política comercial internacional.

CATEGORÍAS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AERONAVES COMERCIALES

Las dos características que se utilizan en primer lugar y de manera prioritaria para clasificar las aeronaves comerciales que ofrece el mercado son su tamaño y su alcance [6]:

- ≠ El **alcance (range)** en una aeronave hace referencia a la distancia máxima que puede volar sin parar para repostar combustible adicional, con una cantidad normalizada de pasajeros y carga.
- ≠ El **tamaño (size),** puede venir representado por su peso, su número de asientos, su capacidad de carga, o cualquier otro indicador que haga referencia a lo que puede transportar. De manera que categorías definidas como aviones pequeños para corta distancia –short-haul" o aviones grandes para larga distancia –long-haul", incluyen varios tipos de aviones diferentes, construidos por diferentes fabricantes.

Debido a que hay distintos tipos de aviones que pueden proporcionar un servicio similar a las compañías aéreas, estos aviones semejantes en prestaciones, se deben considerar —competidores" cuando se evalúen de cara a la planificación de una flota en una aerolínea. Por ejemplo, el Airbus 320 (A320) y el Boeing 737-800, compiten en el mismo segmento, ya que ambos son de los llamados de pasillo único (single-aisle), bimotores y con aproximadamente una capacidad para 150 pasajeros con un alcance similar.

En la figura 2.7-1 se representan diferentes tipos de aeronaves comerciales que estaban disponibles para su adquisición por parte de las aerolíneas en 2008. Es una representación en función del tamaño y del alcance. Históricamente, los aviones más grandes se diseñaban para las rutas más lejanas y que implicaban un mayor número de horas de vuelo. En la década de los 70, la relación entre el tamaño de la aeronave y el alcance fue casi lineal, de

forma que una aerolínea que quisiera prestar servicio en un ruta sin escalas de muy largo alcance, lo tenía que hacer comprando aeronaves del tipo más grande, como el Boeing 747. En los últimos 30 años, ha aumentado de manera notable el alcance en muchos aviones de diferentes capacidades, de forma que hay más opciones para elegir en diferentes tamaños y en distintos fabricantes.

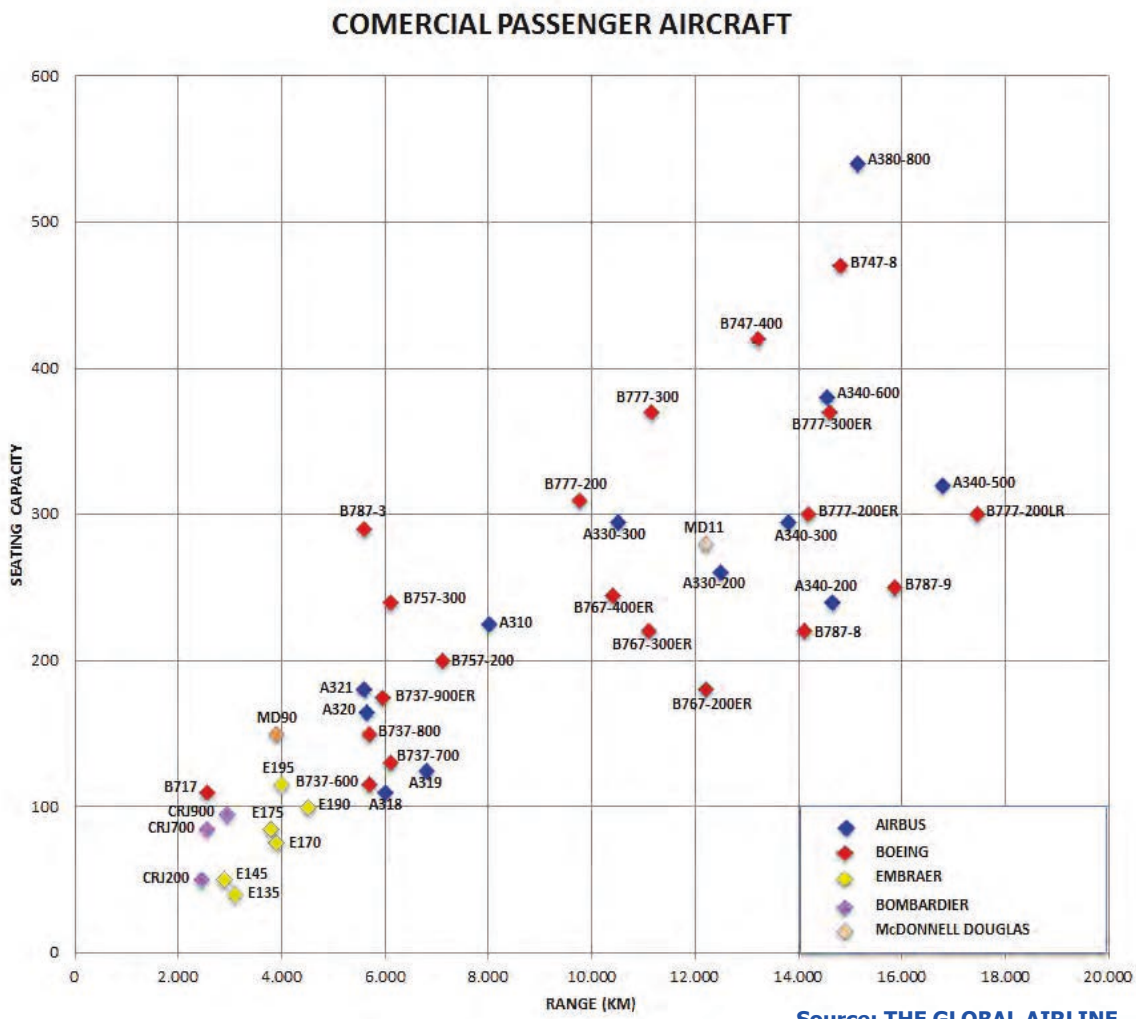


Gráfico 2.7-1

Source: THE GLOBAL AIRLINE INDUSTRY – Belobaba, P. [6]

EVALUACIÓN DE LAS AERONAVES

El proceso de evaluación de los aviones que ofrece el mercado por parte de las aerolíneas, puede dividirse en cinco áreas: consideración de las **características de diseño**, **rendimiento físico**, **necesidades de mantenimiento**, los **costes de adquisición** y la **economía de las operaciones** o economía operativa.[8]

1. **Características de diseño:** incluye factores tales como las dimensiones de la aeronave, el perfil de pesos[12], la capacidad de combustible, el tipo de motores, los sistemas (eléctricos, hidráulicos y medio ambientales), la configuración de asientos, los contenedores y pallets, el volumen aparente y el volumen total.

   Es difícil comparar estas características tan diferentes para la oferta de aviones, y el problema se agrava por las muchas opciones disponibles en cada avión. Por ejemplo, en el Boeing 747-300 con la extensión del piso superior puede llevar desde 96 pasajeros en clase turista a 40 de primera clase en asientos cama, pasando por 50-60 en business.

   Una alta densidad de pasajeros puede hacer que se configure el Boeing 747-300 para llevar hasta 624 personas. En comparación, el 747-300 combi (combinación pasajeros y carga) que puede llevar como máximo 278 pasajeros y 12 pallets o 360 pasajeros y 6 pallets. Además para mayor confusión, se ofrecen con motores Pratt & Whitney, General Electric o Rolls-Royce opcionales. A pesar de todo, parece claro que este sería uno de los baremos en el que podría ayudar el modelo que se presenta en esta tesis.

2. **Rendimiento físico:** los parámetros técnicos que normalmente se consideran en esta área se conocen como el **Physical Performance Factors**. Éstos incluyen ítems tales como los diagramas de **payload-range** (carga-útil/alcance), los datos sobre el despegue y el aterrizaje, velocidades de crucero y de aproximación, los requisitos de las pistas, sobretodo por parte de aerolíneas que operan en aeropuertos situados muy por encima del nivel del mar o en climas extremadamente calurosos, y las características de ruido conocidas las restricciones de los aeropuertos donde opere. También, para rutas sobre montañas, debe considerarse la altitud máxima o techo del avión.

   En la figura 2.7-2 se muestra como ejemplo la curva de payload–range de los aviones tipo Boeing 767, en ella se define la capacidad técnica de cada tipo de aeronave para transportar una carga útil de pasajeros o de carga a una distancia máxima de vuelo. Cada modelo de avión específico tiene su propia curva de payload–range, con diferentes curvas dependiendo de que tipo de motor se monte a la estructura del avión. Las curvas de payload–range de la figura 2.7-2 son para los tipos de aviones Boeing 767-300ER, utilizando motores General Electric. [6]

[12] *Se refiere al peso máximo con cero combustible* ***-MZFW (Maximum Zero Fuel Weight)-*** *y el peso operativo en vacío -* ***OEW (Operating Empty Weight)****.*

La forma específica de la curva de payload–range de un avión es función de su diseño aerodinámico, de su tecnología, de la carga de combustible y de la configuración típica de pasajeros más carga. Para cualquier avión, la forma típica de la curva indica que el avión es capaz de transportar una carga útil máxima una cierta distancia, pudiendo aumentar la distancia máxima de vuelo si el operador está dispuesto a reducir la carga en el vuelo a cambio de combustible adicional. Este intercambio seguirá hasta alcanzar un radio de acción operativo.

Evidentemente también serán relevantes los datos suministrados por el modelo que se pretende desarrollar en esta tesis a la hora de valorar el rendimiento físico de la aeronave.

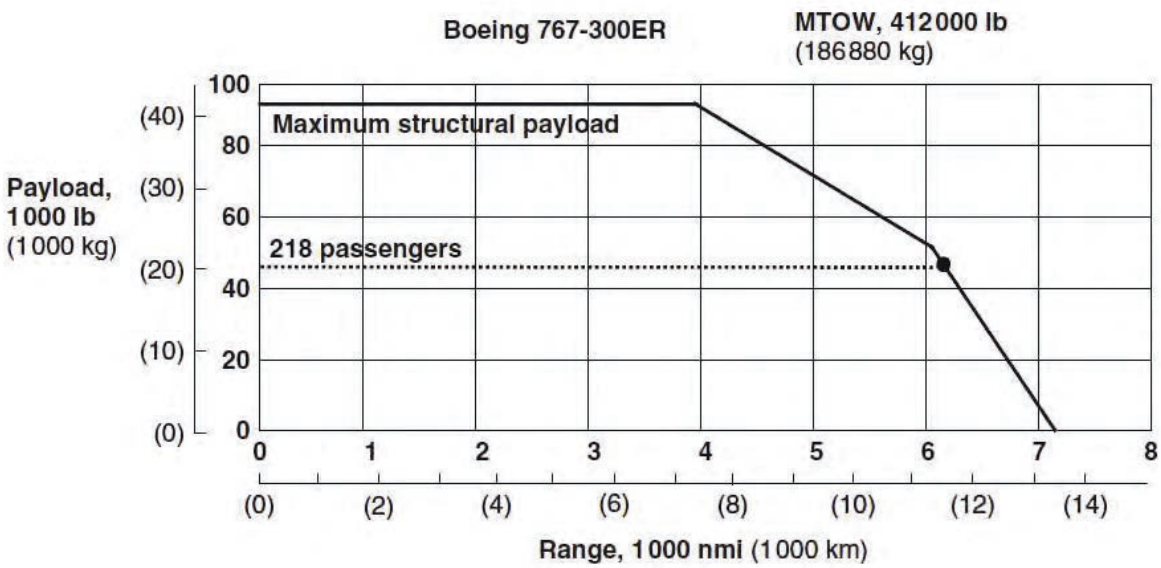


Gráfico 2.7-2 Example of payload – range curve
Source: THE GLOBAL AIRLINE INDUSTRY – Belobaba, P. [6] - Boeing (1998)

3. **Necesidades de mantenimiento:** en este punto se incluyen consideraciones tales como la disponibilidad de repuestos, la compatibilidad del avión en estudio con el resto de la flota, servicio postventa, requisitos técnicos de conservación y necesidades de formación. Deben ser estudiadas las comparativas de costes de mantenimiento durante la vida útil esperada de todo el equipo. Estos gastos están muy influenciados por diferentes factores, entre ellos los periodos en los que el avión no puede volar por estar en mantenimiento y las cantidades pagadas por servicios exteriores necesarios durante estos periodos de mantenimiento.

El departamento de planificación de la empresa trabajará estrechamente con ingeniería, mantenimiento y operaciones en vuelo en la evaluación de los factores técnicos (características de diseño, rendimiento físico y consideraciones de mantenimiento). También se establecerán contactos con otras líneas aéreas que hayan ordenado o estén considerando la compra de un equipo similar. Y personal técnico de la aerolínea hará extensas e intensas inspecciones in situ de los aviones considerados, antes de decidirse por alguno de ellos.

Con los factores técnicos, se debe conseguir una reducción entre las diferentes aeronaves alternativas, eliminando las que según estos factores no cumplen las necesidades y quedando únicamente las que deben ser consideradas por la aerolínea. Pero antes de la decisión final se deben tener en cuenta los dos últimos factores: los **costes de adquisición**, incluyendo los términos de pago y financiación, y los datos sobre la economía de funcionamiento de la aeronave o también llamada **economía operativa**.

4. **Los costes de adquisición:** bajo este concepto se incluye el coste de la propia aeronave, el de las piezas de repuesto, el equipo de tierra necesario, el mantenimiento y el entrenamiento de vuelo requerido. Además, hay que añadir el precio del dinero si la aeronave va a financiarse a través de deuda (préstamos de diversos intermediarios financieros, como las compañías de seguros o bancos comerciales) o financiación por participaciones (venta de bonos o acciones).

   En el contrato con el fabricante hay que prestar especial atención a las garantías exigidas y al calendario de pagos por adelantado del fabricante. Aunque el precio real de un avión puede ser menor que el de otro, el coste total, teniendo en cuenta estos y otros factores, puede ser superior, los costes totales de un fabricante pueden implicar mayores costes de puesta en marcha y en consecuencia una aeronave de menor precio salir mas cara que otra cuyo precio estrictamente dicho sea superior.

La disponibilidad de nuevos aviones es otra consideración importante. En la década de los 70 había largas listas de espera para conseguir los primeros aviones de fuselaje ancho, de hasta tres años en algunos modelos, ya que la mayoría de las aerolíneas apostó por ellos para cubrir sus flotas. Esto provocó en las aerolíneas paros forzosos y suspensiones del trabajo.

Actualmente las aerolíneas también deben considerar la posibilidad de permutas y comparar la ventaja potencial de leasing frente a la compra, ya que este aunque puede parecer más caro le da una flexibilidad mayor en unos mercados tremendamente inestables. Tampoco puede pasarse por alto la opción de comprar aviones usados, prestando atención a los beneficios fiscales que tiene una aeronave usada frente a una aeronave nueva.

5. **Economía de funcionamiento o economía operativa:** la economía operativa es probablemente el área más difícil de evaluar. Incluye la contribución potencial de la aeronave a la rentabilidad de la empresa. Deben examinarse los ingresos directos y los potenciales costes operativos en términos de los KPIs (Indicadores Clave de Rendimiento) que se hayan definido, en el caso habitual estos indicadores estarán relacionados con las millas recorridas por aeronave, el número de asientos disponibles y el factor de ocupación. Sin embargo, estos elementos dependen y están relacionados además con una serie de diferentes factores que los condicionan, como la estructura de rutas de la compañía, traffic flow (flujo de vuelos) y su composición, los volúmenes de dicho tráfico, el potencial de crecimiento futuro, la densidad de asientos en los aviones/configuración de la aeronave (1, 2 o 3 clases), load factor (nivel de ocupación/carga), además de cómo utilice la compañía sus aviones.

   Los gastos en la tripulación (personal de vuelo) y los costes en combustible representan una porción significativa de los gastos directos de explotación, como se ha podido ver en el apartado 2.6 de esta tesis, por eso, los aviones de nueva generación (Boeing 757 y 767, MD-80, A-310, A-320 y A-300) se han diseñado y construido con esto en mente. Por ejemplo el B-757, con su concepto de 2 más 2 (dos pilotos y dos motores), representa una mejora del 22 por ciento en gastos de explotación directa sobre el B-727, que utiliza una tripulación de tres y tiene tres motores. Por ello un B-757 completamente cargado es un 42% más eficiente que un B-727 completamente cargado. [8]

OTROS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE AERONAVES

Al comienzo de este apartado se ha remarcado la importancia de planificar adecuadamente la flota de una aerolínea y se han ido desgranando consideraciones de tipo técnico, económico y financiero, para facilitar la adecuada planificación. No obstante y además de todo lo anterior, es conveniente hacer hincapié, a la hora de incorporar aviones a una flota, en el hecho de que hay que valorar los beneficios de hacerlo con aviones como los que ya dispone la aerolínea, es decir aplicar **criterios de racionalización de la flota** [8]. Si se analiza detenidamente, se comprobará que se pueden reducir de manera muy significativa los costes de formación de la tripulación y los mecánicos y conseguir grandes ahorros a través de la optimización de los repuestos. Es una política muy utilizada en las aerolíneas de bajo coste por sus beneficios económicos. Dotar de características comunes a la flota no sólo quiere decir que se debe tener exactamente la misma aeronave, sino también que hace referencia a tenerlas vinculadas, por ejemplo, provienen del mismo fabricante, diseños de cabina similares e idénticos requisitos de mantenimiento y piezas de repuesto.

Por ejemplo, el Airbus A318 (aproximadamente 110 plazas), A319 (130 plazas), A320 (150 plazas) y A321 (170 plazas) son aviones son prácticamente idénticos en todos los aspectos excepto por su capacidad. Todos los aviones de esta "familia" tienen los mismos requisitos para la tripulación de cabina, permitiendo que un equipo calificado para operar con cualquier tipo de avión de la familia pueda operar con todos los aviones de la familia. Esto proporciona a la compañía una mayor flexibilidad en la programación de la tripulación y reduce los costes de la tripulación. Otro ejemplo son la nueva generación de la familia 737 de Boeing, que dispone de varios modelos con cabinas idénticas y una capacidad entre 100 y 180 pasajeros, lo que le provee de gran flexibilidad para planificar diferentes rutas con las ventajas equivalentes a tener un solo modelo de avión.

Asimismo, se incluirá en la evaluación económica y financiera la previsión de un aumento de los ingresos en los nuevos aviones, que tendrán mayor capacidad de carga útil (asientos), y la potencialidad de beneficios por aumentar la demanda al utilizar como marketing el atractivo de las nuevas aeronaves de pasajeros. Por ejemplo, la introducción en 2008 del avión Airbus-380 por parte de Singapore Airlines en algunas de sus rutas, generó una gran demanda específicamente para vuelos operados con este tipo de aeronave, permitiendo a la aerolínea cobrar tarifas superiores en los vuelos del A380 a las que cobraba en vuelos operados con otro tipo de aviones en las mismas rutas. [6]

Siguiendo con puntos de vista adicionales a los prioritarios, que son las consideraciones técnicas, económicas y financieras de las diferentes alternativas en estudio, no se puede pasar por alto que existen otras consideraciones importantes en los criterios de selección, como son las cuestiones medioambientales, el marketing y las políticas de la empresa.

La tendencia a controlar el impacto ambiental mediante regulación está en la agenda de la mayoría de los gobiernos de todo el mundo. Dicha regulación está teniendo un impacto creciente en las decisiones sobre la planificación de la flota en las aerolíneas e incluso sobre los condicionantes en sus operaciones actuales. El impacto por el ruido de los aviones comerciales se ha convertido en una cuestión capital para los aeropuertos y las comunidades que los rodean y en un caballo de batalla para organizaciones medioambientales y los afectados por la proximidad de sus domicilios al aeropuerto. Actualmente, muchos aeropuertos tienen toques de queda que limitan o impiden el funcionamiento de la mayoría de los modelos de aviones, que tienen unos motores que exceden los niveles de ruido especificados o regulados. Del mismo modo, existe una tendencia creciente hacia la implantación de regulaciones sobre la contaminación del aire, diseñadas para limitar el tipo y la cantidad de emisiones de las aeronaves en los aeropuertos e incluso en un futuro inmediato las emisiones en vuelo. Estas regulaciones ambientales proporcionan más incentivos a las compañías aéreas para actualizar sus envejecidas flotas con nuevas aeronaves de tecnología más silenciosa y limpia en términos de emisiones, con el sobrecoste que supone para ellas.

Por último, hay que concluir que a pesar de que la detallada y cuidadosa evaluación económica y financiera o las consideraciones técnicas o el rendimiento o cualquiera del resto de los criterios de selección descritos, son muy importantes, pueden no serlo tanto como las influencias políticas o las estrategias de comercio internacional, que pueden terminar siendo el factor que decante las decisiones sobre la flota de la aerolínea.

Existen numerosos ejemplos bien documentados de cómo la presión política recibida por una aerolínea para que compre a un fabricante en particular o a un fabricante de un determinado país, ha terminado condicionando la flota. Un buen ejemplo de esa influencia es la gran compra de aviones Boeing y McDonnell Douglas hecha a Estados Unidos por Saudia (Saudí Airlines), la aerolínea nacional de Arabia Saudita, en las secuelas de la Guerra del Golfo en la década de los 90. Saudia, fue inducida por su Gobierno a un compromiso de compra de aeronaves fabricadas en Estados Unidos, después de que el presidente Clinton y

su administración aplicaran una presión política directa sobre el Gobierno de Arabia Saudita como contraprestación de los servicios recibidos (Lynn, 1995). [6]

MÉTODOS DE PLANIFICACIÓN DE LA FLOTA

Después de todo lo dicho, hay que centrarse en las decisiones de la aerolínea relacionadas con la planificación de la flota que dependen principalmente de una evaluación de los impactos esperados de los nuevos aviones en el desempeño económico y financiero de la aerolínea. No es que se dejen de lado el resto de criterios, pero el enfoque de "modelos" de planificación de la flota únicamente se basa en la evaluación de los impactos económicos y financieros más cuantificables.

Una representación de un proceso de evaluación económica para la planificación de la flota se muestra en la figura 2.7-3. El proceso de evaluación que se ilustra es representativo del enfoque dado al análisis empleado por la mayoría de las aerolíneas para tomar decisiones sobre flotas, aunque existan diferentes niveles de sofisticación y detalle. Los pasos principales en el proceso que se muestra pueden resumirse como sigue:

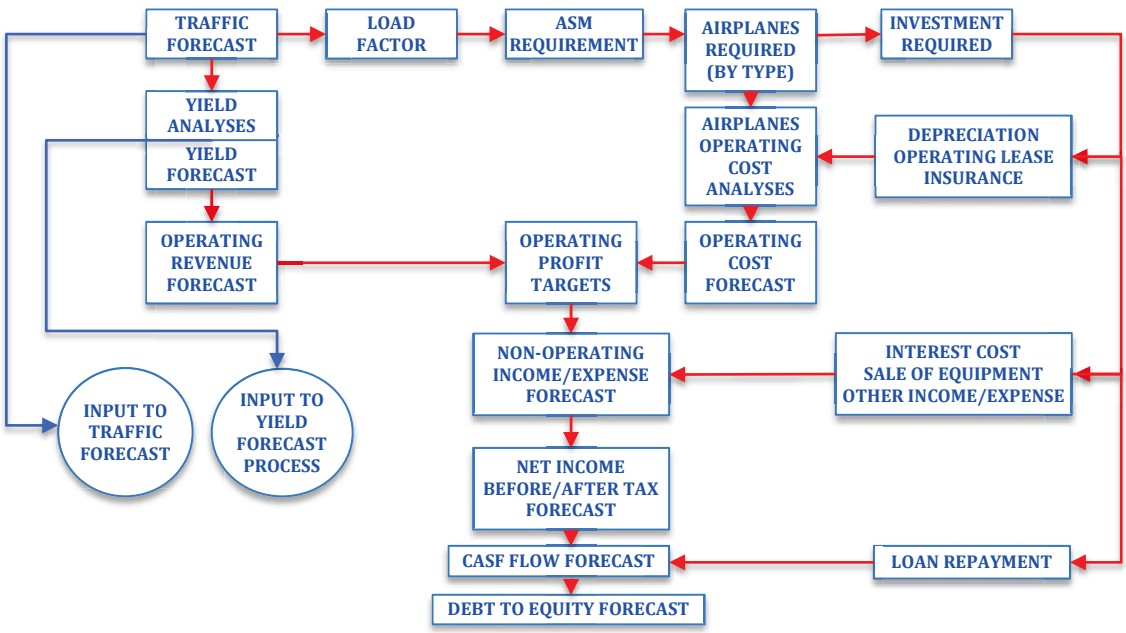


Gráfico 2.7-3 Fleet planning economic evaluation process

Source: THE GLOBAL AIRLINE INDUSTRY – Belobaba, P. [6]
Adapted from McDonnell Douglas (1981)

- El factor más importante de la evaluación es una previsión del tráfico esperado, expresado en **RPKs o RPMs (Kilómetros/Millas recorridas por pasajeros de pago - Revenue Passenger Kilometers/Miles)**, de la red, subred o conjunto de rutas consideradas a efectos de la decisión de adquisición de flota.

- Dada una previsión de futuro de RPKs por período, para determinar los futuros **ASKs o ASMs (Available seat per Kilometer or Mile)** en cada período, se utiliza el **ALF (target Average Load Factor - objetivo de factor de carga medio)** necesario para acomodar la demanda pronosticada en un factor de carga medio razonable. Es decir, los RPKs previstos están divididos por el objetivo de factor de carga medio para calcular los ASKs requeridos.

- Usando hipótesis sobre la productividad de un tipo de aeronave, que se mide en términos de su capacidad para generar ASKs por día (o por mes o año), puede entonces calcularse el número de aviones necesarios para cumplir con el requisito de ASKs en el futuro.

- El número de aviones a adquirir tiene impactos financieros en términos de inversión, financiación, gastos de amortización e intereses. Al mismo tiempo, el análisis de costes de operación previstos para un tipo de avión lleva a un pronóstico combinado de funcionamiento de los costes e impactos financieros.

- La estimación de los ingresos que se generen por el nuevo avión se basa, tanto en las previsiones de producción (por RPKs) que la aerolínea puede esperar de la operación de este tipo de aviones en las rutas, como en el sistema que tiene en cuenta las previsiones de tráfico utilizadas inicialmente para determinar el número de aviones necesarios.

- La combinación de estas previsiones de ingresos con las previsiones de gastos de funcionamiento permite a la aerolínea establecer las estimaciones de beneficio operativo o metas para el tipo de avión y estas estimaciones pueden utilizarse para predecir los efectos sobre el balance de la aerolínea, flujo de caja y el apalancamiento o peso de la deuda.

En la mayoría de las aerolíneas, estas estimaciones deben obtenerse de diferentes bases de datos administradas por distintos departamentos, lo que puede hacer difícil de aplicar este proceso ideal de evaluación de la aerolínea en la práctica.

ENFOQUES PARA LAS EVALUACIONES EN LA PLANIFICACIÓN DE LA FLOTA (FLEET PLANNING EVALUATIONS - FPE)

El proceso de evaluación de la aerolínea presentado anteriormente puede aplicarse a diferentes niveles de análisis, según el contexto específico de la decisión sobre la planificación de flota. Por ejemplo, una aerolínea que desee adquirir una docena de aviones para reemplazar su actual flota de aviones nacionales de corto alcance puede definir el proceso correspondiente para que las nuevas aeronaves cubran por completo las actuales rutas nacionales y también las rutas previstas para el futuro. Es muy diferente al proceso de una aerolínea que desea adquirir sólo uno o dos aviones para operar en una nueva oportunidad de ruta internacional en particular, en el que se limitaría su evaluación a la ruta específica bajo consideración.

En cualquier caso, el proceso de evaluación se apoyará en uno de los dos enfoques siguientes, destinados tanto a la evaluación económico-financiera, como a la de los modelos de avión que se tienen como alternativas (McDonnell Douglas, 1981):

- ≠ Un enfoque "top-down" o "macro", basado en un análisis relativamente de alto nivel de agregación.
- ≠ Un enfoque "bottom-up" o "micro", basado en un análisis mucho más detallado de los datos y las previsiones de vuelos y rutas.

En el enfoque "top-down" la evaluación de la planificación de la flota (FPE), la demanda agregada y el cálculo de costes se utilizan para evaluar los impactos financieros de las diferentes opciones de aviones para un subsistema definido, la región o la ruta bajo consideración. El proceso de evaluación descrito anteriormente se puede acomodar sin muchos cambios a unos inputs agregados. Como se describió, un objetivo de factor de carga medio (ALF - target average load factor) establece el ASK necesario para adaptarse a las previsiones de crecimiento de RPK (por ejemplo, 75% del ALF previsto) en períodos de tiempo futuros.

Como se muestra en la figura 2.7-4, la «brecha de capacidad (capacity gap)» se define como la diferencia entre el ASK que se requiere en el futuro y el ASK existente menos las aeronaves que tienen prevista su retirada, calculadas para cada período (año) en el horizonte de planificación de flota. Pueden ser necesarios aviones con características técnicas diferentes (por ejemplo, las capacidades de payload–range) para dar servicio a varias rutas con distancias y diferentes estimaciones de demanda, en cuyo caso, como se muestra, la brecha de capacidad futura de la compañía aérea puede eliminarse con aviones de varios tipos. Las hipótesis sobre la distancia promedio recorrida y la utilización diaria de las aeronaves para cada tipo de avión se considera que determina la "productividad de los aviones" en unidades de ASK por día, dato que se utiliza para calcular el número de aviones necesarios. Las estimaciones de costes de operación de las aeronaves obtenidas a partir de datos históricos o de las previsiones del fabricante, pueden utilizarse para comparar el rendimiento económico de los diferentes tipos de aviones.

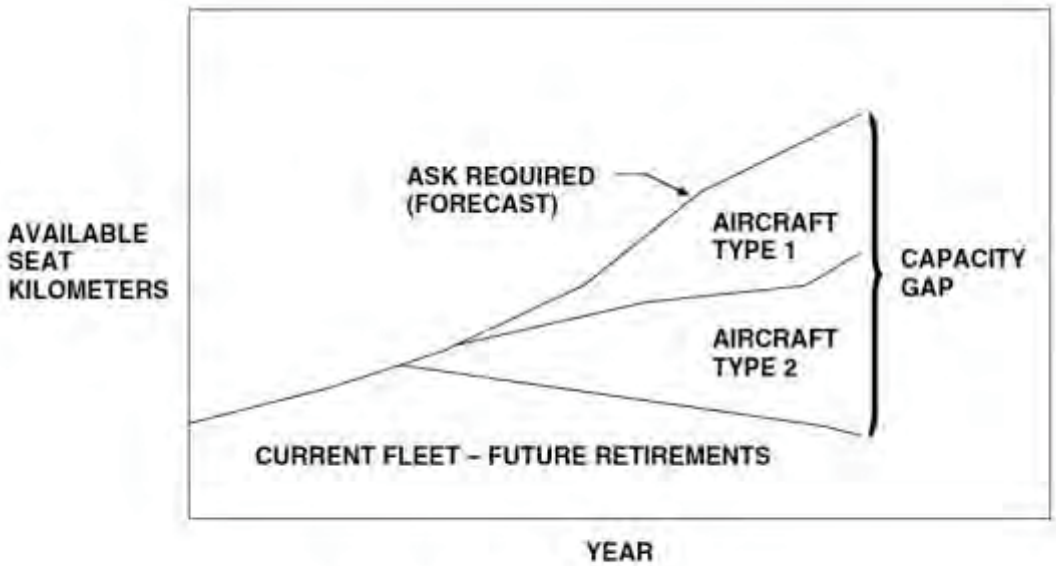


Gráfico 2.7-4 Capacity gap analysis

Source: THE GLOBAL AIRLINE INDUSTRY – Belobaba, P. [6]
Adapted from McDonnell Douglas (1981)

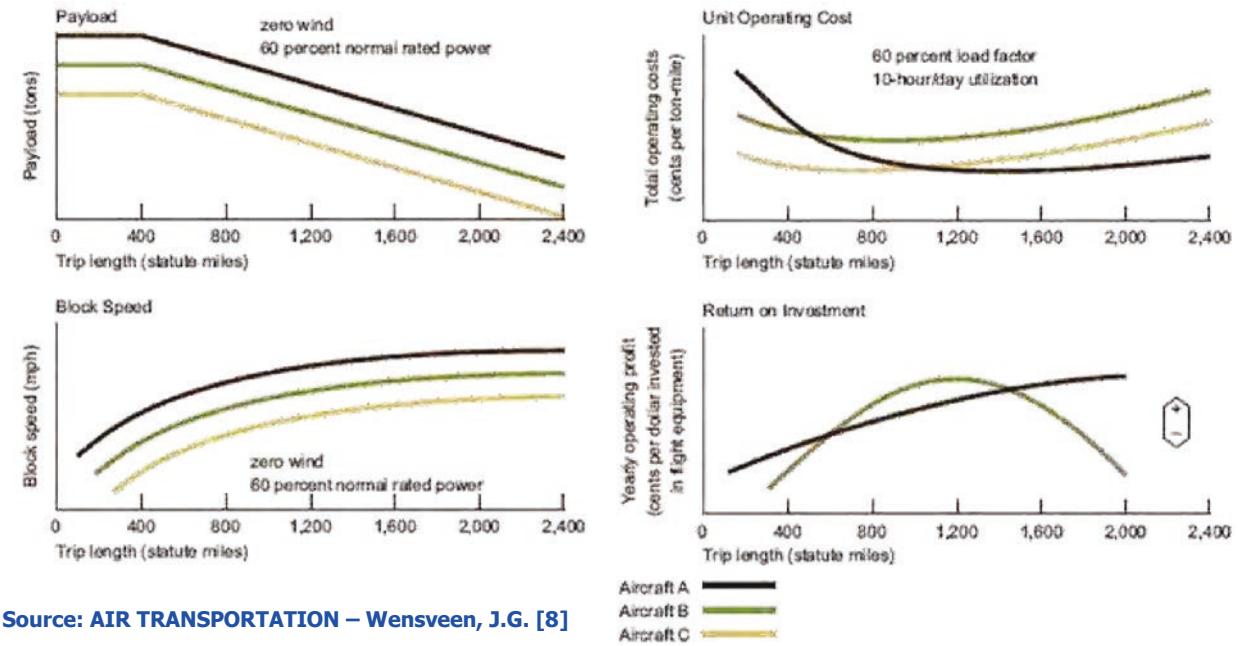
El enfoque "top-down", se definiría, como un modelo que puede estar totalmente contenido en una hoja de cálculo relativamente simple de previsiones de tráfico, características de la aeronave, costes de funcionamiento y estimaciones de ganancias para los diferentes tipos de aviones en funcionamiento. Los inputs necesarios son estimaciones totales o promedio para la subred completa o un conjunto de rutas de estudio, y los outputs son los impactos relativos de beneficio operativo de los tipos diferentes de aviones.

La alternativa "bottom-up" o enfoque "micro" implica una evaluación mucho más detallada de la ruta específica, las características y requisitos de los aviones y en consecuencia requiere descripciones de escenarios futuros mucho más detalladas para la subred o rutas en estudio. Las previsiones de demanda futura detallada para los diferentes mercados de origen-destino, así como expectativas sobre horarios y rutas futuras, la cuota que tiene la línea aérea sobre la demanda total en cada mercado, teniendo en cuenta las redes de posibles rutas y los horarios de los competidores.

En resumen, y como conclusión de todo lo expuesto anteriormente, se puede decir que el modelo de planificación de flotas relaciona KPIs (RPMs, ASMs, CASM…) obtenidos de estimaciones, datos históricos y previsiones, con parámetros técnicos y económicos de la aeronave (payload-range, MZFW, OEW…), obtenidos de la información que suministra el fabricante. Por lo que el modelo que debe resultar de esta tesis, puede proporcionar unos datos que facilitarían a las aerolíneas todo el proceso estudiado en este apartado.

En la gráfico 2.7-5 que figura a continuación, se pueden ver curvas comparativas de tres aeronaves, utilizadas por las aerolíneas en el proceso de planificación de su flota.

Gráfico 2.7-5 Major characteristics of competing commercial jetliners (hypothetical data).



Source: AIR TRANSPORTATION – Wensveen, J.G. [8]

Capítulo 3

PRIMERA PARTE: AVIONES DEL ESTUDIO

3.1. Necesidad de elegir una muestra significativa. Descripción y acotación del alcance.

Como se ha podido ver en el apartado 2.1 de esta tesis, desde los años treinta, la variedad de modelos de avión utilizados ha sido enorme. Sería poco práctico y de escasa relevancia considerarlos todos en este estudio, por lo que desde el principio se ha previsto seleccionar una muestra de esa numerosa población, con la intención de que sea significativa, es decir, represente a la población de la que ha sido extraída.

Es misión del método científico la acotación del problema y la definición de variables, como paso previo al establecimiento de las hipótesis. Por ello lo primero que se ha definido en esta tesis, es que se va a ocupar exclusivamente de las aeronaves para el transporte de pasajeros y lo relacionado con ellas. Dentro de ellas, se han elegido las aeronaves de las aerolíneas que operan en el mercado norteamericano, considerado que es suficientemente grande y representativo como para poder utilizarlo como ‒eobaya" de este estudio. El desarrollo y el tipo de aeronaves utilizadas en el mercado estadounidense son comunes al resto de mercados relevantes y por lo tanto no restan generalidad ni validez al estudio, por lo que se espera que los resultados se puedan inferir a otros mercados de similar madurez, como el caso del mercado europeo.

Para evidenciar la población acotada, se describirán una serie de aeronaves con diferente grado de relevancia, pero que forman parte de dicha población. Se detallarán sus datos estructurales, los de funcionamiento y otros datos que se consideran de interés. A partir de las aeronaves descritas, y tomando como base los criterios de selección del capítulo

próximo, se seleccionará un grupo de aeronaves para el estudio que se va a llevar a cabo en esta tesis.

Se dividirán los datos en dos tablas, indicando así todo lo referente a cada modelo de aeronave, que a su vez estará separada en sus diferentes versiones. A continuación se incidirá expresamente sobre un componente de estos aviones que tiene vital importancia en gran parte de la evolución del transporte de pasajeros, que son los motores.

- La primera tabla indica los datos de los aviones de los fabricantes AIRBUS y BOEING COMMERCIAL AIRPLANES, siendo éstas las dos empresas manufactureras más grandes y conocidas hoy en día.
- La segunda estará compuesta por las aeronaves fabricadas por otras empresas que han sido importantes para la aviación, tales como DOUGLAS AIRCRAFT COMPANY, MCDONNELL DOUGLAS, CONVAIR (CONSOLIDATED VULTEE), LOCKHEED, GLEEN L. MARTIN, EMBRAER, AÉROSPATIALE – BAC y ATR (Avions de Transport Régional).

Todos los datos que se exponen están indicados en unidades del Sistema Internacional I[16]. La explicación de la estructura de las tablas se especifica a continuación:

- En la **sección de dimensiones** se han recogido los datos siguientes:
  - Longitud y altura total del avión (m).
  - Ancho y longitud tanto del fuselaje como de la cabina (m).
  - Envergadura (m).
  - Superficie alar (m^2).
  - Flecha, en el 25% de la cuerda (grados).
  - Wheel-base (distancia en metros entre ejes del tren de aterrizaje).
  - Wheel-track (vía de la rueda en metros).

- En las partes de **datos básicos de funcionamiento** se indican:
  - En lo referente al **motor**: el tipo, número (cantidad), modelo y rango de potencia por motor (KN y en ocasiones en KW).
  - El **número de pasajeros**, tanto en configuración típica como en nº máximo.
  - **Número** de componentes de la **tripulación de cabina.**
  - **Alcance** del avión (km).

- **Mach máximo** (Mmo).
- **Velocidad de crucero y velocidad máxima** (km/h).
- **Techo** de la aeronave (m).

≠ En lo correspondiente a los **pesos de diseño** se incluye:

- **MRW:** peso máximo de rodaje (t).
- **MTOW:** peso máximo al despegue (t).
- **MLW:** peso máximo al aterrizaje (t).
- **MZFW:** peso máximo sin combustible (t).
- **Max Fuel:** capacidad máxima de combustible (l).
- **Max Payload:** carga de pago máxima (t).
- **OEW:** peso operativo al vacío (t).

≠ Para terminar, se refleja la **producción y transporte de carga**:

- Esto incluye el **año de entrada en servicio** de cada aeronave así como su **año de fin de producción**.
- El **número de aviones construidos** de cada modelo también se puede ver en las siguientes tablas.
- En lo referente al transporte de carga, se indica el **volumen total del avión y el volumen sin embalar** que puede ir en la bodega.

Serie	Model	DIMENSIONES											DATOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO												PESOS DE DISEÑO							PRODUCCIÓN			TRANSPORTE DE CARGA	
		TOTAL		FUSELAJE		CABINA		ALA			TREN DE ATERRIZAJE		MOTORES				PASAJEROS		CREW	Alcance	Mmo	Vmáx	Vcrucero	Techo								año entrada en servicio	año fin de producción	nº de naves totales	VOL. Total (m^3)	BULK HOLD VOL. (m^3)
		Long. (m)	Altura (m)	Ancho (m)	Long. (m)	Ancho máx (m)	Long. (m)	Enver (m)	Sup. Alar (m^2)	Flecha (o)	Wheel-base (m)	Wheel-track (m)	Tipo	Nº	Modelo	Potencia unitaria (KN)	Típico (3ª y 2ª clase)	Nº máx	Pilots, co-pilots &engl.	km	máx	km/h	km/h	m	MRW (t)	MTOW (t)	MLW (t)	MZFW (t)	Max Fuel Capacity (l)	Max Payload (t)	OEW (t)					
A300	600	54.10	16.54	5.64	54,08	5.28	40.70	44.84	260,00	28º	18.62	9.60	jet	2	CF6-80C2 ó PW4000	249-270	266(2)	361	2	7500	0.82	871	829	10675	172.6	171.7	140,00	130,00	68150	34.9	90,90	1974	2007	561	137,9	
A310	A310	46.66	15.80	5.64	45,9	5.28	33.25	43.90	219,00	28º	15.21	9.60	jet	2	CF6-80C2 ó PW4000	220-260	240(2)	280	2	7050-9600	0.84	900	850	12000	150.9 (164.9)	150 (164)	123 (124)	113 (114)	61070 (75470)	26.7 (21.6)	80,14	1983	1998	255		17.3 (9.0)
A318	A318	31.44	12.51	3.95	31,44	3.70	21.38	34.10	122,00	25º	10.25	7.59	jet	2	CFM56-5 ó PW6000A	96-106	107(2)	117-132	2	6000	0.82	871	828	12000	59.4 (68.4)	59 (68)	56 (57.5)	53 (54.5)	24210	11,00	39,50	2003	2010	74		21.21
A319	A319	33.84	11.76	3.95	33,84	3.70	23.78	34.10	122,00	25º	11.04	7.59	jet	2	CFM56-5 ó IAE V2500	98-120	124(2)	134-156	2	6650	0.82	871	828	12000	64,4 (75.9)	64 (75.5)	61 (62.5)	57 (58.5)	24210 (30190)	13.2	40,80	1996	actualidad	1285	24,2	27.62
A320	A320	37.57	11.76	3.95	37,57	3.70	27.51	34.10	122,00	25º	12.64	7.59	jet	2	CFM56-5 ó IAE V2500	111,2-120,1	150()	164-180	2	5950	0.82	871	828	12000	73.9 (78.4)	73.5 (78)	64.5 (66)	61 (62.5)	24210 (30190)	16.6	42,60	1988	actualidad	2655	31,7	37.41
A321	A321	44.51	11.76	3.95	44,51	3.70	34.44	34.10	122,00	25º	16.91	7.59	jet	2	CFM56-5 ó IAE V2500	120-148	185(2)	199-220	2	5600	0.82	871	828	12000	89.4 (93.9)	89 (93.5)	75.5 (77.8)	71.5 (73.8)	24050 (30030)	21.2	48,50	1994	actualidad	644	42,7	51.76
A330	200	58.8	17.40	5.64	58,37	5.28	45.0	60.3	362,00	30º	22.2	10.69	jet	2	CF6-80E1 ó PW4000 ó RR Trent 700	287-320	253(3) 293(2)	380	2	13400	0.86	913	871	12527	230.9 (238.9)	230 (238)	180 (182)	168 (170)	139090	36.4	120,00	1993	actualidad	780	134,6	19.7 13.76
	300	63.6	16.85	5.64	63,60	5.28	50.35	60.3	362,00	30º	25.6	10.69			CF6-80E1 ó PW4000 ó RR Trent 700	287-320	295(3) 335(2)	440	2	10800	0.86	913	871	12527	230.9 (233.9)	230 (233)	185 (187)	173 (175)	97530	45.9	122 (124)				161,4	19.7
A340	200	59.4	16.8	5.64	59,40	5.28	46,06	60.3	362,00	30º	23.24	10.69	jet	4	CFM56-5C4	139-152	261(3)	375-420	2	15000	0.86	913	871	12497	275,00	275,00	181,00	169,00	155040	30.8	129,00	1993	actualidad	375	161,4	19.7 13.76
	300	63.6	16.85	5.64	63,60	3.70	50.35	60.3	362,00	30º	25.60	10.69			CFM56-5C4/P	139-152	295(3)	375-440	2	13700	0.86	913	871	12497	275.9 (277.4)	275 (276.5)	192,00	180 (183)	140640 (147840)	43.5 (41)	129,28				161,4	19.7
	500	67.5	17.1	5.64	66,03	5.28	53.56	63.5	438,00	31º 6'	27.59	10.69			RR Trent 500	235(249)	313(3)	375	2	16670	0.86	913	881	12497	373,2 (381,2)	372 (380)	243 (246)	230 (232)	215260 (222850)	43.3	170,40				152,3	19.7
	600	75.3	17.3	5.64	73,46	5.28	60.98	63.5	438,00	31º 6'	32.89	10.69			RR Trent 500	249-260	380(3)	440-520	2	14600	0.86	913	881	12497	369,2 (381,2)	368 (380)	259 (265)	245 (251)	195520	55.6	177,00				206,2	19.7
A350	800	60.54	17.05	6.09	58.9	5.59		64.8	443,00	32º	24.86	10.6	jet	2	RR	351	270(3) 312(2)	375-440	2	15400	0,89	945	903	13100	248.9	248,00	185,00	173.5	129000		118,00	2013	x	x		11.3
A380	A380	72.7	24.1	7.14		5,92-6,58	49.90	79.8	846,00	33º 30'	30.4	14.3	jet	4	RR Trent 900 ó GP 7200	311-355	525(3) 644(2)	853	2	15400	0,96	1020	945	13115	571,00	569,00	391,00	366,00	323000	89,20	276.8	2007	x	23	176	17.3
B707	320B	46,61	12,93	3,76	44,35	3,54	34,00	44,42	283,40	35º	17,98	6,73	jet	4	P&W JT3D-3	84,52	147(2)	189	3	12000		966	886	11735	152,40	151,31	112,04	88,45	90299	24,45	64,00	1958	1994	1010	47,39	
B717	200	37,81	8,92	3,34	34,30	3,11	23,44	28,44	93,00	24º 30'	17,60	4,90	jet	4	Rolls Royce BR715-A1-30	82,3-93,4	106(2)	117	2	2645	0,82		811	5365	50,35	49,94	45,36	42,64	13903	12,02	30,67	1999	2006	155	26,50	
B727	100	40,60	10,36	3,76	35,41	3,56	22,15	32,92	157,90	32º	16,23	5,72	jet	3	P&W JT8D-7	62,30	106(2)	131	3	5000	0,90	960	907	9100	73,10	72,60	62,40	53,60	29069	13,80	39,80	1963	1984	1831	25,00	
	200	46,70	10,36	3,76	41,50	3,56	28,24	32,92	157,90	32º	19,28	5,72			P&W JT8D-9	69-77,4	134(2)	189	3	4400	0,90	960	917	12000	84,40	83,90	70,10	62,70	30620	18,34	44,31				43,00	7,00
B737	100	28,65	11,23	3,76	27,61	3,53	18,95	28,35	102,00	25º	10,46	5,23	jet	2	P&W JT8D	64,00	85(2)	96-124	2	2850	0,82	876	780	10700	50,36	49,90	44,90	40,82	17900	12,70	28,10	1967	actualidad	6754	18,40	
	200	30,53	11,23	3,76	29,54	3,53	20,88	28,35	102,00	25º	11,38	5,23			P&W JT8D	77,00	97(2)	124-136	2	3500	0,82	876	780	10700	52,62	52,40	46,72	43,91	18100	15,96	31,60				24,80	
	400	36,45	11,07	3,76	35,23	3,53	24,18	28,88	105,40	25º	14,17	5,23			CFM International 53-3 series	98,00	146(2)	159-189	2	4200	0,82	876	780	11300	68,26	68,00	56,25	53,07	20100	19,88	33,20				38,90	
	500	31,01	11,07	3,76	29,79	3,53	21,79	28,88	105,40	25º	11,07	5,23			CFM International 53-3 series	89,00	108(2)	122-149	2	4400	0,82	876	780	11300	60,,78	60,55	50,00	46,50	20100	15,18	31,30				23,30	
	600	31,20	12,57	3,76	29,79	3,53	21,79	34,32	124,58	25º	11,23	5,72			CFM International 53-7 series	91,00	110(2)	132	2	5650	0,82	876	828	12500	65,77	65,50	55,10	51,04	26020	15,56	36,40				20,40	
	700	33,60	12,57	3,76	32,18	3,53	24,18	34,32	124,58	25º	12,60	5,72			CFM International 53-7 series	116,00	126(2)	149	2	6370	0,82	876	828	12500	70,31	70,00	58,60	55,20	26020	17,55	38,15				27,30	
	800	39,50	12,55	3,76	38,02	3,53	30,02	34,32	124,58	25º	15,60	5,72			CFM International 53-7 series	121,00	162(2)	189	2	5765	0,82	876	828	12500	79,33	79,00	66,35	62,73	26020	21,32	41,42				44,00	
	900	42,10	12,55	3,76	40,67	3,53	32,66	34,32	124,58	25º	17,17	5,72			CFM International 53-7 series	121,00	177(2)	189	2	7000	0,82	876	823	12500	79,24	79,00	66,81	63,64	29660	20,74	42,90				52,00	
B747	100	70,40	19,30	6,50	68,60	6,10	57,00	59,60	510,95	37º 30'	25,62	11,00	jet	4	PW JT9D-7A/-7F/-7J	207-223	366(3) 452(2)	480	3	9800	0,89	955	893	13715	323,40	322,10	255,80	238,78	183380	76,28	162,50	1969	2009	1418	175,30	X
	200	70,40	19,30	6,50	68,60	6,10	57,00	59,60	510,95	37º 30'	25,62	11,00			PW JT9D-7R4G2	234-244	366(3) 452(2)	480	3	12700	0,89	955	893	13715	379,10	377,84	285,70	238,78	199158	68,18	170,60				175,30	X
	300	70,40	19,30	6,50	68,60	6,10	57,00	59,60	510,95	37º 30'	25,62	11,00			PW JT9D-7R4G2	236-247	412(3) 496(2)	608	3	12400	0,89	955	893	13715	341,50	340,10	255,80	238,78	183350	65,75	173,03				175,30	X
	400	70,60	19,40	6,50	68,63	6,10	57,00	64,40	560,00	37º 30'	25,60	11,00			PW 4062	265-282	416(3) 524(2)	568	2	13450	0,92	988	913	13715	397,80	396,89	285,76	246,07	216840	67,32	178,76				170,50	X
	8I	76,25	19,15	6,50	74,22	6,10		68,50		37º 30'	29,67	11,00			GEnx-2B67	296,00	467(3)		2	14815			918		443,61	442,25	309,35	291,20	243120		214,50				180,00	18
B757	200	47,32	13,56	3,76	46,97	3,54	36,09	38,05	181,25	25º	18,29	7,32	jet	2	Rolls-Royce RB211	163-193	186(2)	224-234	2	7222	0,86	935	868	12800	109,30	108,85	89,80	83,45	42680	23,45	60,00	1982	2005	1049	51,00	
	300	54,47	13,56	3,76	54,00	3,54	43,21	38,05	181,25	25º	22,35	7,32					243(2)	279-289	2	6421	0,86	935	882	12800	122,93	122,50	101,61	95,26	43490	30,69	64,59				67,50	
B777	200	63.7	18.5	6.19	62,94	5.86	49,50	60.9	427,80	31º 30'	25,88	10,97	jet	2	PW4077 ó RR Trent 877 ó GE90-77B	338-342	301(3) 400(2)	440	2	9695	0,89	950	905	13140	243,50	242,63	201,84	190,47	117340	54,62	135,85	1995	actualidad	929	162,00	17
	200 ER	63.7	18.5	6.19	62,94	5.86	49,50	60.9	427,80	31º 30'	25,88	10,97			PW4090 ó RR Trent 895 ó GE90-94B	400-417	301(3) 400(2)	440	2	14260	0,89	950	905	13140	287,80	286,90	208,70	195,00	171170	56,94	138,10				162,00	17
	200 LR	63.7	18.6	6.19	62,94	5.86	49,50	64.8		31º 30'	25,89	10,97			GE90-110B1	490-514	301(3) 400(2)	440	2	17500	0,89	950	905	13140	348,36	347,45	223,17	209,10	181280	63,95	145,15				162,00	17
	300	73.9	18.5	6.19	73,00	5.86	59,60	60.9	427,80	31º 30'	31,22	10,97			PW4098 ó RR Trent 892 ó GE90-94B	409-436	365(3) 451(2)	550	2	11135	0,89	950	905	13140	300,28	299,37	237,68	224,53	171170	64,00	160,50				216,00	17
	300 ER	73.9	18.5	6.19	73,00	5.86	59,60	64.8		31º 30'	31,22	10,97			GE90-115B	514,00	365(3) 451(2)	550	2	14685	0,89	950	905	13140	352,44	351,53	251,29	237,68	181280	69,85	167,80				216,00	17

Tabla 3.1-1 Aviones de Boeing y Airbus. Variables caracterizadoras seleccionadas.

SERIE	MODELO	DIMENSIONES											DATOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO													PESOS DE DISEÑO							PRODUCCIÓN			TRANSPORTE DE CARGA	
		TOTAL		FUSELAJE		CABINA		ALA			TREN DE ATERRIZAJE		MOTORES				PASAJEROS		CREW	ALCANCE	Mmo	Vmáx	Vcruucero	Techo									año entrada en servicio	año fin de producción	nº de naves totales	VOL. Total (m^3)	BULK HOLD VOL. (m^3)
		Long. Total (m)	Altura Total (m)	Ancho (m)	Long. (m)	Ancho máx (m)	Long. (m)	Enver. (m)	Sup. Alar (m^2)	Flecha (o)	Wheel-base (m)	Wheel-track (m)	Tipo	Nº	Modelo	Rango Potencia unitaria (KN)	Nº típico	Nº máx	Pilots, co-pilots &engi.	km	máx	km/h	km/h	m	MRW (t)	MTOW (t)	MLW (t)	MZFW (t)	Max Fuel Capacity(t)	Max Payload (t)	OEW (t)					
DC3	DC-3	19,70	5,16	2,43	19,70	2,13	9,14	29,00	91,70		11,55	5,64	pistón	2	Wright R-1820 Cyclone 9series	895(KW)	21	32	3	3420	0,32	360	310	7000		11,80	11,08		3045	3,96	7,50	1936	1950	607		
DC4	DC-4	28,62	8,38	3,25	28,62			35,80	135,60		8,35	7,52	pistón	4	PW R-2000	1081(KW)	44	86	5	6000	0,37	420	365	6800		33,14	28,83		13596	5,17	19,64	1938	1942	79	11,86	
DC6	DC-6	30,66	8,70	3,25	30,66	2,70	19,50	35,81	135,90		9,34	7,52	pistón	4	PW R-2800-CA-15	1340(KW)	48	56	3 o 4	7168	0,52	570	501	8845		44,13	34,05		16058		23,38	1946	1958	704		
	DC-6B	32,19	8,70	3,25	32,19	2,70	20,74	35,81	135,90		11,00	7,52			PW R-2800-CB-17	1700(KW)	54	102	3	4840	0,52	576	507	7600		48,12	40,04		17770	8,70	24,58					
DC7	DC-7B	33,24	8,72	3,25	33,24			35,81	136,00		11,00	7,52	pistón	4	Wright R-3350-18EA1	2535(KW)	40	99	3	7130	0,60	656	555	8504		55,43	46,26		24226	10,27	30,84	1953	1958	338	21,00	
	DC-7C	34,23	9,65	3,25	34,23			38,80	152,00		12,05	10,57			Wright R-3350-18EA1	2535(KW)	58	105	5	9070	0,58	648	555	6925		63,56	49,50		29575	10,60	36,29					
DC8	DC-8-32	45,87	12,91	3,73	44,55	3,35	31,11	43,41	257,40	30°	17,52	6,34	jet	4	Pratt & Whitney JT4A-9	74,70	124	176	3	7410		946	876		144,24	140,60	93,90	81,42	87360	15,58	60,80	1959	1972	556	39,35	
	DC-8-63	57,10	12,98	3,73	55,75	3,35	42,49	45,23	271,90	30°	23,62	6,34			PW JT3D-7	84,50	180	259	3	7240	0,90	959	910	12000	162,40	161,03	117,30	104,33	91891	32,33	72,00				70,80	
DC9	DC-9-10	31,82	8,38	3,35	28,07	3,14	18,29	27,25	86,80	24°	13,,32	5,03	jet	2	Pratt & Whitney JT8D-5	62,30	80	90	2	2340	0,85	903	885	10668	41,50	41,10	37,06	33,56	13978	11,26	22,30	1965	1982	976	17,00	
	DC-9-20	31,82	8,38	3,35	28,07	3,14	18,29	28,47	92,97	24°	13,32	5,03			Pratt & Whitney JT8D-11	66,70	90	90	2	2700	0,85	903	885	10668	45,81	45,36	43,23	38,10	13925	11,50	23,88				17,00	
	DC-9-30	36,37	8,38	3,35	32,61	3,14		28,47	92,97	24°	16,22	5,03			Pratt & Whitney JT8D-7	68,90	105	115	2	3030	0,85	907	798	10668	49,44	48,99	44,90	39,46	13925	13,67	25,79				25,30	
	DC-9-40	38,28	8,53	3,35	34,53	3,14		28,47	92,97	24°	17,10	5,03			Pratt & Whitney JT8D-9	68,90	125	125	2	3120	0,85	898	820	10668	52,16	51,70	46,26	42,18	13925	14,36	27,82				28,80	
	DC-9-50	40,72	8,53	3,35	36,96	3,14		28,47	92,97	24°	18,57	4,88			Pratt & Whitney JT8D-7	71,20	135	139	2	3030	0,85	926	820	10668	55,33	54,90	49,90	44,68	19078	15,34	29,34				33,93	
DC10	DC-10-10	55,50	17,70	6,02	51,97	5,70	41,45	47,34	358,70	35°	22,07	10,67	jet	3	GE CF6-6D	177,90	250	380	5	6114	0,88	982	908	10605	196,40	195,05	164,88	151,95	82134	43,04	108,94	1971	1989	446	85,43	
	DC-10-15	55,50	17,70	6,02	51,97	5,70	41,45	47,34	358,70	35°	22,07	10,67			GE CF6-50C2F	206,80	250	380	5	7000	0,88	982	908	11000	196,40	206,39	164,88	151,95	100859	43,04	108,94				130,70	
	DC-10-30	55,35	17,70	6,02	51,97	5,70	41,45	50,40	367,70	35°	22,05	10,67			GE CF6-50C	226,90	250	380	5	10010	0,88	982	908	12802	253,10	251,70	182,80	166,92	138720	46,18	120,74				130,70	
	DC-10-40	55,54	17,70	6,02	51,97	5,70	41,45	50,40	367,70	35°	22,07	10,67			PW JT9D-59A	235,00	250	380	5	9252	0,88	982	908	12802	253,10	251,70	182,80	166,92	138720	44,35	122,57				130,70	
MD80	MD-81	45,01	9,02	3,35	41,58	3,14	30,78	32,82	112,30	24° 30'	22,05	5,08	jet	2	Pratt & Whitney JT8D-200	82-93	155	172	2	2910	0,87	925	811	11290	63,96	63,50	58,06	53,52	22100	18,19	35,30	1980	1999	1191	35,50	35,50
	MD-82/88	45,01	9,02	3,35	41,58	3,14	30,78	32,82	112,30	24° 30'	22,05	5,08					155	172	2	3800	0,87	925	811	11290	68,26	67,80	59,00	55,34	22100	19,97	35,40				35,50	35,50
	MD-83	45,01	9,02	3,35	41,58	3,14	30,78	32,82	112,30	24° 30'	22,05	5,08					155	172	2	4600	0,87	925	811	11290	73,03	72,60	63,23	55,34	26000	19,19	36,20				28,70	28,70
	MD-87	39,73	9,25	3,35	36,30	3,14	30,78	32,82	112,30	24° 30'	19,18	5,08					130	139	2	4390	0,87	925	811	11290	63,96	63,50	58,08	50,80	22100	17,56	33,20				26,50	26,50
convair 240		22,76	8,21					27,97	75,90		7,57	7,62	pistón	2	Pratt & Whitney R-2800 CA-18	1490(KW)	40	40	3 o 4	2900	0,49	538	435	9150		19,00	18,07		5860	4,24	12,52	1947	1954	1076		
CV	340	24,14	8,58					32,12	85,50		7,98	7,62			PW R-2800-CB16	1790(KW)	44	52	3 o 4	3225	0,46	515	448	7468		21,32	20,88		6615	6,08	13,38					
	440	24,14	8,58					32,12	85,50		7,98	7,62			PW R-2800-CB17	1865(KW)	44	52	3 o 4	2092	0,45	497	465	7590		22,00	21,61		6548	5,82	14,,2					
Constellation		29,00	7,00					37,50	153,50		10,06	8,53	pistón	4	Wright R-3350	1492(KW)	20	44	5	8000	0,48	530	443	7620		44,50	40,63		17130	22,35	25,10	1943	1978	525		
Super Constellation		35,42	7,54					38,47	153,70		13,89	11,71			Wright R-3350-DA3 Turbo Compound	2424(KW)	62-95	109	5	8700	0,54	607	547	7620		62,37	51,30		29340	29,62	36,15					
Starliner L1649A		35,41	7,54					45,72	171,90				pistón	4	Wright R-3350 998 TC18-EA-2	2535(KW)	99	106	5	7950-9945	0,49	544	467	7225		70,80					45,67					
Electra L188A		31,85	10,00					30,18	120,80		11,28	9,50		4	Allison 501-D13 turboprop	2800(KW)	98	104	5	4455	0,66	721	600	8665		51,26	43,38	39,01	20210	12,00	26,04	1957	1961	170		
martin 4-0-4		22,73	8,66					28,42	80,27		6,83	7,62	pistón	2	Pratt & Whitney R-2800-CB16	1790(KW)	40	40	3 o 4	4160	0,45	502	448	8340		20,49	19,61	18,60	5200	5,63	13,21	1950	1953	103		
concorde		61,66	12,20	2,87		2,62	39,32	25,60	358,25		18,19	7,72	jet	4	RR/SNECMA Olympus 593 Mk 610	140-169	92-128	144	3	7250	2,04	2172	2124	18300	187,00	185,00	111,13	92,08	119500	11,40	78,70	1976	2003	20		
ATR-42		22,67	7,59	2,86		2,57	14,72	24,57	54,50		8,78	4,10		2	PW Canada PW 127E turboprops	1610(KW)	42	50	2	1555	0,5	560	490	7600	18,77	18,60	18,30	16,70	5736	5,45	11,25	1984	actualidad	401	56,00	10,00
ATR-72		27,17	7,65				19,21	27,05	61,00		10,77	4,10		2	PW 127F turboprops	1846(KW)	68	74	2	3000	0,46	511	459	7620	22,67	22,50	22,35	20,50	6337	7,35	12,95	1989	actualidad	408	75,50	11,70
E-jets	170	29,90	9,67	3,01		2,74	19,38	26,00					jet	2	GE CF34-8E	62.3-63.2	70	76	4	3892	0,82	890		12500		38,60	33,30	30,90	9335	9,84	21,06	2004	actualidad	704		
	175	31,68	9,73	3,01		2,74	21,16	26,00							GE CF34-8E	62.3-63.2	78	88	4	3706	0,82	890		12500		40,37	34,10	32,00	9335	10,36	21,64					
	190	36,24	10,28	3,01		2,74	25,70	28,72							GE CF34-10E	82.3-89	96	114	4	4448	0,82	890		12500		51,80	44,00	40,90	12971	13,08	27,82					
	195	38,65	10,28	3,01		2,74	28,13	28,72							GE CF34-10E	82.3-89	108	122	4	4077	0,82	890		12500		52,29	45,80	42,60	12971	13,65	28,95					

Tabla 3.1-2 Otras aeronaves relevantes. Variables caracterizadoras seleccionadas.

En las tablas anteriores se ha realizado una primera selección de aeronaves significativas en el contexto comercial del transporte aéreo desde la década de los años 30 a la actualidad. Era evidente la necesidad de acotar el estudio preseleccionando un conjunto de aeronaves comerciales que más adelante se volverá a reducir. Pero conviene tener claro que una misma aeronave puede montar diferentes motores, a criterio de la aerolínea que la encarga. Esta práctica se ha acentuado en los últimos tiempos. Por ello, es imprescindible, describir la población de motores que interactuará con las aeronaves y que ha sido clave en la evolución de la aviación comercial. En consecuencia, a continuación, se desarrollarán en más profundidad los aspectos relacionados con los motores, que como se puede observar en las tablas anteriores y según lo ya comentado, ofrecen diferentes modelos para los diferentes tipos de aeronaves. Los fabricantes más conocidos son Pratt & Whitney, Rolls-Royce, General Electric e IAE (International Aero Engines). A continuación se mostrarán con detalle algunos modelos representativos de cada uno de ellos.

El primer motor de la compañía Pratt & Whitney E[10], el R-1340 Wasp fue terminado en vísperas de la Navidad de 1925 y revolucionó por completo la industria de la aviación norteamericana, gracias a la velocidad, ascenso, desempeño y rentabilidad que proporcionaban a las aeronaves. El motor Pw4000 es de tipo turbofán, dándose su primer encendido en los 80s. Sus principales aplicaciones son: Airbus A300, Airbus A310, Airbus A330, Boeing 747-400, Boeing 767, Boeing 777 y McDonnell Douglas MD-11. En el motor Pw6000 la más significativa es el Airbus 318.

Company	Model	Version	DIMENSIONS				
			Length, excl nozzle (m)	*Diameter (m)*	*Weight, dry (kg)*	*Performance ratings (kN)*	*Specific fuel consumption (T-O, S/L) (mg/Ns)*
PRATT & WHITNEY	PW-6000	6122A	2,74	1,44	2289	100,24	10,20
		6124A	2,74	1,44	2289	105,91	10,48
	PW-4000 94-in FAN	4050	3,90	2,46-2,47	4273	222,40	9,86
		4052	3,90	2,46-2,47	4273	232,10	9,94
		4056	3,90	2,46-2,47	4273	252,30	10,17
		4156	3,90	2,46-2,47	4273	249,10	10,17
		4158	3,90	2,46-2,47	4273	258,00	10,34
		4060	3,90	2,46-2,47	4273	266,80	10,34
		4062	3,90	2,46-2,47	4273	275,80	10,34
		4460	3,90	2,46-2,47	4273	266,80	10,48
		4462	3,90	2,46-2,47	4273	275,80	10,71

Tabla 3.1-3 Motores de Pratt & Whitney. E[10]

Rolls-Royce E[11], de lejos la más importante económicamente, es una empresa de ingeniería británica que ha desarrollado, entre otros el Rolls Royce Trent (familia de motores turbofáns de alto índice de derivación). Las distintas versiones del Trent están en servicio en los Airbus A330, A340, A380 y Boeing 777. El Trent ha logrado un éxito comercial significativo, llegando a convertirse en el motor de pruebas para todas las variantes del 787, el A380 y el A350. Su cuota total en los segmentos de mercado en los que compite es de un 40%. Las ventas de la familia de motores Trent han convertido a Rolls-Royce en el segundo mayor proveedor de grandes motores turbofán para aviación civil del mundo, tras el fabricante norteamericano General Electric.

La versión 500 fue diseñada para su uso en aviones tipo A340 de la serie -500 y -600. La versión 700 fue creada para el uso en aviones tipo Airbus A330, tanto de la serie -200 como -300. El motor fue certificado en enero de 1994 y entró en servicio en marzo de 1995 De todos los A330 en servicio, el Trent 700 está presente en el 52% de las unidades. Y por último, la versión Rolls-Royce Trent 900 fue diseñada para equipar a los aviones tipo Airbus A380 en sus diferentes series. Inició su elaboración en 2001 y se certificó en noviembre de 2004.

Company	Model	Version	DIMENSIONS				
			Length, excl nozzle (m)	*Diameter (m)*	*Weight, dry (kg)*	*Performance ratings (kN)*	*Specific fuel consumption (T-O, S/L) (mg/Ns)*
ROLLS ROYCE	*TRENT 500*	553	3,94	2,47	4835	235,80	15,26
		556	3,94	2,47	4835	249,00	15,26
	TRENT 700	768	3,91	2,47	4785	300,30	15,86
		772	3,91	2,47	4748	316,30	15,86
	TRENT 900	970	4,55	2,95	6436	311,40	14,67
		977	4,55	2,95	6436	340,30	14,67

Tabla 3.1-4 Motores de Rolls Royce plc. E[11]

General Electric es una empresa multinacional de infraestructuras, servicios financieros y medios de comunicación altamente diversificada. Desde energía, agua, transporte y salud hasta servicios de financiación e información, GE está presente en más de 100 países y tiene más de 300.000 empleados en todo el mundo. CFM International E[13] es una unión de empresas entre Snecma y GE Aviation E[12]. Ambas compañías son responsables de producir varios componentes, con líneas de ensamblaje propias.

Los motores de la serie CFM International CFM56 es una familia de motores turbofán de alta conducción siendo uno de los tipos de motores más prolíficos en el mundo. Su larga historia comenzó con el Boeing 737-300. La familia 737 ha contado con el CFM56 durante más de 25 años, y las variantes del CFM56 todavía impulsan los nuevos modelos, el 737-900ER y el 737-700ER. El motor es también una de las opciones de la familia Airbus A320. Es también el único motor disponible del A340-200 y -300. Por su parte, el CF6-80 y sus versiones prestan servicio a aviones tales como: Boeing 747-400/- 400ER, Boeing VC-25 (Air Force One), Lockheed C-5M Galaxy, McDonnell Douglas MD-11, Airbus A300-600, Airbus A310 y Airbus A330.

Company	Model	Version	DIMENSIONS				
			Length, excl nozzle (m)	*Diameter (m)*	*Weight, dry (kg)*	*Performance ratings (kN)*	*Specific fuel consumption (T-O, S/L) (mg/Ns)*
GENERAL ELECTRIC	*CFM 56-5*	2	2,43	1,74	2102-2187	97,9-106,8	18,44-18,72
		3	2,36	1,52	1946-1951	89-104,5	18,55
		5A	2,42	1,74	2266-2337	97,9-117,9	16,87
		5B	2,60	1,74	2381	96,12-148,12	16,98
		5C	2,62	1,84	2572-3990	138,8-151,25	16,06
		7B	2,51	1,55	2384-2405	86,77-121,43	17,06
		9	2,33	1,42		82,55-102,28	

Tabla 3.1-5 Motores de General Electric CFM 56. E[13]

Company	Model	Version	DIMENSIONS				
			Length, excl nozzle (m)	*Diameter (m)*	*Weight, dry (kg)*	*Performance ratings (kN)*	*Specific fuel consumption (T-O, S/L) (mg/Ns)*
GENERAL ELECTRIC	*CF6-80C2*	A1	4,27	2,69	4300	50,40	9,46
		A2	4,27	2,69	4300	50,40	8,98
		A3	4,27	2,69	4300	50,40	9,32
		A5	4,27	2,69	4300	50,40	9,63
		A5F	4,27	2,69	4473	50,40	9,63
		A8	4,27	2,69	4300	50,40	9,74
		B1	4,27	2,69	4386	50,40	9,15
		B1F	4,27	2,69	4441	50,40	8,95
		B1F1	4,27	2,69	4441	50,40	
		B1F2	4,27	2,69	4441	50,40	
		B2	4,27	2,69	4386	50,40	9,01
		B2F	4,27	2,69	4441	50,40	8,70
		B3F	4,27	2,69	4441	50,40	
		B4	4,27	2,69	4386	50,40	9,24
		B4F	4,27	2,69	4441	50,40	8,98
		B5F	4,27	2,82	4441	50,40	9,15
		B6	4,27	2,69	4386	50,40	9,46
		B6F	4,27	2,82	4441	50,40	9,15
		B6FA	4,27	2,69	4431	50,40	9,15
		B7F	4,27	2,82	4441	50,40	9,15
		B8F	4,27	2,69	4441	50,40	9,18
		D1F	4,27	2,69	4468	50,40	9,12
		LIF	4,27	2,82	4441	50,40	
	CF6-80E1	A1	4,27	2,90	5091	281,50	
		A2	4,27	2,90	5091	292,70	9,40
		A3	4,27	2,90	5091	310,48	9,77
		A4	4,27	2,90	5091	302,9-320,27	9,57

Tabla 3.1-6 Motores de General Electric CF6 80. E[13]

International Aero Engines (IAE) E[14] es un consorcio de cuatro fabricantes de motores, creado en 1983 para producir un motor. Las compañías y sus responsabilidades en el programa son:

- Pratt & Whitney - Carburador y turbina de alta presión
- Rolls-Royce - Compresor de alta presión
- Japanese Aero Engines Corporation - Fan y compresor de baja presión
- MTU Aero Engines - Turbina de baja presión

La certificación de vuelo de la FAA para el V2500 fue otorgada en 1988. Es de tipo turbofán y sus principales aplicaciones son: A319, A320, A321 y MD-90.

Company	Model	Version	DIMENSIONS				
			Length, excl nozzle (m)	Diameter (m)	Weight, dry (kg)	Performance ratings (kN)	Specific fuel consumption (T-O, S/L) (mg/Ns)
IAE	V-2500	A1	2,96	1,61	3311	133,40	
		A5	3,20	1,61	3402	133,40	
		D5	3,20	1,61	3583	133,40	

Tabla 3.1-7 Motores IAE. E[14]

UNIFICACIÓN DE UNIDADES

Para vencer la inercia del avión parado, acelerarlo en la carrera de despegue o en vuelo, mantener una tasa de ascenso adecuada, vencer la resistencia al avance, etc., se necesita una fuerza: el empuje o tracción. Esta fuerza se obtiene acelerando una masa de aire a una velocidad mayor que la del aeroplano. La reacción, de igual intensidad pero de sentido opuesto (3ª ley del movimiento de Newton), mueve el avión hacia adelante. En aviones de hélice, la fuerza de propulsión la genera la rotación de la hélice, movida por el motor (convencional o turbina); en reactores, la propulsión se logra por la expulsión violenta de los gases quemados por la turbina. Esta fuerza se ejerce en la misma dirección a la que apunta el eje del sistema propulsor, que suele ser más o menos paralela al eje longitudinal del avión.

Es obvio que el factor principal que influye en esta fuerza es la potencia del motor, pero hay otros elementos que también influyen, como la forma y tamaño de la hélice, el octanaje del

combustible, la densidad del aire, etc. Puesto que potencia es equivalente a energía por unidad de tiempo, a mayor potencia mayor capacidad de aceleración. La potencia es el factor más importante a la hora de determinar la tasa de ascenso de un avión.

Se habla de potencia refiriéndose en C.V. (H.P.) en motores convencionales, y de kilos (libras) o KN de empuje en reactores. En las dos tablas de datos de las aeronaves preseleccionadas, el rango de potencia unitaria se indica en KN (ya que técnicamente corresponde al empuje de los motores), pero en los aviones con motores convencionales de pistón, los datos están reflejados en KW. Para poder comparar y realizar el estudio correctamente se deberían tener todos los datos de potencia/empuje en las mismas unidades, por lo que a continuación se procederá a su conversión.

Los datos de los que se parten son las potencias unitarias en KW de los motores de pistón y se quiere hallar su empuje equivalente en KN. Se utilizarán ambos valores de la velocidad (máxima y de crucero) para así, al disponer de dos columnas, poder obtener un rango de potencia unitaria en vez de un solo dato.

Existen dos formas de calcularlo:

- Hallando la fuerza del motor con la fórmula conocida de la potencia:

$$F = \frac{Potencia}{velocidad}$$

- Hallando la tracción de la hélice, con un rendimiento inferior a 1, y tomando en este caso y para estos cálculos un valor estimado de $\eta_{hélice}$= 0,8.

$$T = \frac{Potencia\ motor \times \eta_{hélice}}{velocidad}$$

En la tabla 3.1-8, se detallan las conversiones de potencia para unificar las unidades y los criterios de medida, de forma que se puedan incluir sin ninguna salvedad en el estudio, todos los aviones de relevantes, aunque conceptualmente los motores sean totalmente diferentes. Es intención de esta tesis incluir esos aviones para observarlos en conjunto con los demás. La no inclusión, eliminaría una parte de la historia de la aviación comercial que se considera, a priori, de gran interés en el contexto de esta tesis.

Serie	Modelo	Nº	Pot. unitaria (KW)	Vmáx	Vcruc	Rango de Potencia unitaria (kN) F= Pot / vel		T=(Pmotor x η)/vel	
				km/h	km/h	con Vmáx	con Vcruc	con Vmáx	con Vcruc
DC3	DC-3	2	895	360	310	8,95	10,39	7,16	8,31
DC4	DC-4	4	1081	420	365	9,27	10,66	7,41	8,53
DC6	DC-6	4	1340	570	501	8,46	9,63	6,77	7,70
	DC-6B		1700	576	507	10,63	12,07	8,50	9,66
DC7	DC-7B	4	2535	656	555	13,91	16,44	11,13	13,15
	DC-7C		2535	648	555	14,08	16,44	11,27	13,15
convair 240		2	1490	538	435	9,97	12,33	7,98	9,86
convair 340			1790	515	448	12,51	14,38	10,01	11,51
convair 440			1865	542	465	12,39	14,44	9,91	11,55
Constellation		4	1492	530	443	10,13	12,12	8,11	9,70
Super Constellation			2424	607	547	14,38	15,95	11,50	12,76
Martin 4-0-4		2	1790	502	448	12,84	14,38	10,27	11,51
Starliner L1649A		4	2535	544	467	16,78	19,54	13,42	15,63
Electra L188A		4	2800	721	600	13,98	16,80	11,18	13,44
ATR-42		2	1610	560	490	10,35	11,83	8,28	9,46
ATR-72		2	1846	511	459	13,01	14,48	10,40	11,58

Tabla 3.1-8 Conversión de potencias.

Como se puede observar en la tabla anterior, los resultados que mejor se ajustan son los minorados por **η** que tienen más margen de error y que se corresponden con la segunda forma de cálculo. De manera que se tomarán los KN que resultan al aplicar el rendimiento **η** al ser motores de pistón, es decir, las dos últimas columnas resaltadas en azul. A los valores de estas dos columnas se les va a considerar como un rango, para que sea igual que en el resto de motores, desde el valor para velocidad máxima al valor para velocidad de crucero.

Por tanto quedarían los rangos de potencia unitaria en KN de la siguiente manera:

- **DC-3:** [7,16 - 8,31]
- **DC-4:** [7,41 - 8,53]
- **DC-6:** [6,77 - 7,70]
- **DC-6B:** [8,50 - 9,66]
- **DC-7B:** [11,13 - 13,15]
- **DC-7C:** [11,27 - 13,15]
- **Convair 240:** [7,98 - 9,86]
- **Convair 340:** [10,01 - 11,51]
- **Convair 440:** [9,91 - 11,55]
- **Constellation:** [8,11 - 9,70]
- **Super-Constellation:** [11,5 - 12,76]
- **Martin 4-0-4:** [10,27 - 11,51]
- **Starliner L1649A:** [13,42 - 15,63]
- **Electra L188A:** [11,18 - 13,44]
- **ATR-42:** [8,28 - 9,46]
- **ATR-72:** [10,40 - 11,58]

Una vez definido y acotado el alcance, el siguiente paso es seleccionar de entre los aviones elegidos por su relevancia, producción y ventas en la historia del transporte aéreo de pasajeros, aquellos que se van a utilizar en el contexto de la investigación. Habrá que definir los criterios de selección de la muestra, para poder finalmente presentar dicha muestra, que será la base de toda la tesis. Esta tarea descrita, se correspondería con los cuadros 4 y 5 del diagrama de flujo de la tesis. Diagrama, que además, se irá mostrando actualizado, para un mejor seguimiento de todo el proceso seguido en el estudio.

3.2. Criterios de selección de la muestra.

En las tablas 3.1-1 y 3.1-2 del apartado anterior, se describen al nivel de detalle justificado un número relevante de aeronaves que como se podrá verificar en los criterios, son historia imprescindible en el transporte de pasajeros; gracias al conocimiento de todos sus datos con detalle, se está en disposición de elegir algunas que serán protagonistas como muestra significativa de este estudio.

Para este proceso de selección se han definido dos fases o bloques temporales:

1. Selección de una muestra de aviones de entre los operativos en el periodo 1938-1960.
2. Selección de una muestra entre las aeronaves modernas, periodo 1961-2009.

El motivo de la división es la disparidad existente entre las aeronaves llamadas modernas y las más antiguas, pioneras del transporte de pasajeros. Esta disparidad alteraría totalmente los resultados y además evidenciaría la mezcla de dos poblaciones claramente diferenciadas. Esta división no resta generalidad, ya que de ambas fases saldrán las aeronaves más relevantes, y contribuirán al estudio, no viéndose perjudicadas por los cambios tecnológicos y de demanda ni las más antiguas, ni por supuesto las actuales.

1. Selección de una muestra de aviones de entre los operativos en el periodo 1938-1960.

En la tabla 3.2-1 que figura en la página siguiente, se observan los diferentes tipos de aeronaves operativas en Estados Unidos durante el periodo 1938-1960, indicando la máxima flota anual registrada dentro de cada uno de los tres intervalos temporales seleccionados.

Como ya se ha explicado anteriormente, se ha elegido Estados Unidos para el estudio porque se considera que representa adecuadamente el desarrollo de la aviación y en concreto de la industria del transporte de pasajeros ya que su evolución y desarrollo es totalmente extrapolable a la industria global. Además, se ha considerado que la elección no resta generalidad al estudio, ya que se busca una vinculación entre aeronaves y rendimientos, lo que es en principio independiente de la población que da origen a la

muestra. Por otra parte, Estados Unidos tiene la ventaja de la transparencia de los datos, es decir, el acceso a los datos es más fácil y por ello se pueden encontrar mejores datos tanto en cantidad como en detalle, sobre todo en los primeros años de estudio.

Aparecen en la primera columna los fabricantes por orden alfabético, con los aviones operativos en el periodo de referencia y el tipo de motor, dividiendo el periodo en tres bloques 1938-1950, 1951-1955 y 1956-1960.

Fabricante	Modelo	Tipo motor	Intervalo de tiempo		
			1938-1950	1951-1955	1956-1960
Armstrong-Whitworth:	Argosy	(Turboprop)	0	0	0
Beechcraft:	Beechcraft	Piston	7	0	0
Boeing:	247-D	Piston	39	0	0
	SA-307B	Piston	8	0	0
	377	Piston	10	48	34
	B707	(Jet)	0	0	91
	B720	(Jet)	0	0	22
	B727	(Jetl	0	0	0
	B737	(Jet)	0	0	0
	B747	(Jetl	0	0	0
British Aircraft Corp.:	BAC 111	(Jet)	0	0	0
Canadair:	Cl 44	(Turboprop)	0	0	0
Convair:	240	Piston	103	116	100
	340/440	Piston	0	123	165
	540	(Turboprop)	0	0	4
	580/600	(Turboprop)	0	0	0
	880	(Jet)	0	0	14
	990	(Jet)	0	0	0
Curtis:	C-46	Piston	2	75	94

Tabla 3.2-1 Máxima flota anual por aeronave y periodo en EEUU (1ª parte)
Fuente: Air Transport Association of America, ATA

Fabricante	Modelo	Tipo motor	Intervalo de tiempo		
			1938-1950	1951-1955	1956-1960
Douglas:	DC-2	Piston	45	0	0
	pre-DC3	Piston	88	0	0
	DC-3	Piston	533	444	356
	DST	Piston	45	0	0
	DC-4	Piston	200	191	143
	DC-6	Piston	111	257	364
	DC-7	Piston	0	0	252
	DC-8	(Jet)	0	0	75
	DC-9	(Jet)	0	0	0
Fairchild Hiller:	F-27	(Turboprop)	0	0	42
	FH-227	(Turboprop)	0	0	0
Lockheed:	Lodestar	Piston	18	11	42
	Constellation	Piston	83	119	121
	Super Constellation	Piston	0	24	140
	Electra	Piston	42	0	0
	Electra	(Turboprop)	0	0	107
	L-382B/100	(Turboprop)	0	0	0
	Other early models	Piston	14	0	0
Martín:	130	Piston	2	0	0
	202	Piston	33	21	26
	404	Piston	0	96	97
Nihon:	YS-II	(Turboprop)	0	0	0
Nord Aviation:	262	(Turboprop)	0	0	0
Sikorsky	All Types	Piston	26	0	0
Stinson	Sing-Motor	Piston	11	0	0
	Tri-motor	Piston	4	0	0
Sud Aviation:	Caravelle	(Jet)	0	0	0
Vickers:	Viscount	(Turboprop)	0	0	82
Other:	-	Piston	33	17	27
Totals:		Jet	0	0	202
		Turboprop	0	0	235
		Piston	1457	1542	1961
Total Fixed Wing:			1457	1542	2398

Tabla 3.2-1 Máxima flota anual por aeronave y periodo en EEUU (2ª parte)
Fuente: Air Transport Association of America, ATA

Una vez conocidos los datos de flota máxima, se estudiará cada intervalo por separado.

La metodología será la misma para los tres periodos. Como se parte de la flota máxima de un tipo de aeronave en el periodo de estudio, para eliminar las aeronaves cuya presencia es puramente testimonial y no aportan gran cosa al estudio, se ha recurrido al popular **Principio de Pareto** o regla 80/20, que se basa en la hipótesis de que sólo con aproximadamente **el 20% de los modelos de aeronave**, se **estaría considerando el 80% de la flota en ese periodo**. Si se eligen de esta manera esos modelos, se estarían seleccionando las aeronaves más relevantes o tipo A y descartando las menos relevantes o tipos B y C para ese periodo. De 22 aeronaves, se eligen 5 y suponen el 71,04% de la flota.

Model	**1938-1950**			
DC·3	533	36,58%	533	36,58%
DC-4	200	13,73%	733	50,31%
DC·6	111	7,62%	844	57,93%
240	103	7,07%	947	65,00%
Constellation	88	6,04%	1035	71,04%
247-D	83	5,70%	1118	76,73%
Electra	45	3,09%	1163	79,82%
DST	45	3,09%	1208	82,91%
DC·2	42	2,88%	1250	85,79%
Lodestar	39	2,68%	1289	88,47%
pre-DC3	33	2,26%	1322	90,73%
202	33	2,26%	1355	93,00%
All Types	26	1,78%	1381	94,78%
Sing-Motor	18	1,24%	1399	96,02%
SA-307B	14	0,96%	1413	96,98%
Others	11	0,75%	1424	97,74%
377	10	0,69%	1434	98,42%
Other early models	8	0,55%	1442	98,97%
Tri-motor	7	0,48%	1449	99,45%
Beechcraft	4	0,27%	1453	99,73%
C·46	2	0,14%	1455	99,86%
130	2	0,14%	1457	100,00%

Tabla 3.2-2 Listado de aeronaves entre 1938-1950 por número de aeronaves.

Aplicando el mencionado principio, se han ordenado las aeronaves de cada intervalo en función de la cantidad máxima de aeronaves operativas en dicho periodo de estudio, se han calculado la fracciones porcentuales que representa esa cantidad respecto al total de aeronaves operativas, de manera que con el menor número de modelos posible, se obtenga un porcentaje representativo de todas las aeronaves operativas en el periodo. Se han marcado las tablas con una línea de puntos separando a estas aeronaves de resto, de manera que las aeronaves seleccionadas para este estudio son las que quedarían por encima de la línea discontinua en las tres tablas (Tabla 3.2-2 (1938-1950), tabla 3.2-3 (1951-1955) y tabla 3.2-4 (1856-1960)). Las aeronaves resultantes han sido: DC3, DC4, DC6, DC7, Convair 240, Convair 340/440, Lockheed Constellation, Lockheed Super Constellation y Martin 404.

Model	**1951-1955**			
DC·3	444	28,79%	444	28,79%
DC·6	257	16,67%	701	45,46%
DC-4	191	12,39%	892	57,85%
240	123	7,98%	1015	65,82%
340/440	119	7,72%	1134	73,54%
C·46	116	7,52%	1250	81,06%
Constellation	96	6,23%	1346	87,29%
377	75	4,86%	1421	92,15%
404	48	3,11%	1469	95,27%
202	24	1,56%	1493	96,82%
Super Constellation	21	1,36%	1514	98,18%
Lodestar	17	1,10%	1531	99,29%
Others	11	0,71%	1542	100,00%

Tabla 3.2-3 Listado de aeronaves entre 1951-1955 por número de aeronaves.

Model	1956-1960			
DC·6	364	15,18%	364	15,18%
DC·3	356	14,85%	720	30,03%
DC·7	252	10,51%	972	40,53%
340/440	165	6,88%	1137	47,41%
SuperConstellation	143	5,96%	1280	53,38%
Constellation	140	5,84%	1420	59,22%
DC-4	121	5,05%	1541	64,26%
404	107	4,46%	1648	68,72%
240	100	4,17%	1748	72,89%
Viscount	97	4,05%	1845	76,94%
C·46	94	3,92%	1939	80,86%
Electra	91	3,79%	2030	84,65%
B707	82	3,42%	2112	88,07%
377	75	3,13%	2187	91,20%
Others	42	1,75%	2229	92,95%
202	42	1,75%	2271	94,70%
F·27	34	1,42%	2305	96,12%
DC·8	27	1,13%	2332	97,25%
Lodestar	26	1,08%	2358	98,33%
B720	22	0,92%	2380	99,25%
880	14	0,58%	2394	99,83%
540	4	0,17%	2398	100,00%

Tabla 3.2-4 Listado de aeronaves entre 1956-1960 por número de aeronaves.

Tras esta selección de aeronaves más antiguas, se procederá de igual manera para las aeronaves más modernas.

2. Selección de una muestra entre las aeronaves modernas, periodo 1961-2009.

A continuación se muestran una serie de tres tablas en las que se refleja la producción de aeronaves correspondientes al periodo 1961-2009 dividida a su vez en tres bloques temporales (1961-1976; 1977-1993 y 1994-2009), como ya se hizo en la selección de aeronaves clásicas. Como se puede observar, la producción de varias de ellas ha sido muy importante y sólo esto, ya es una razón de peso para formar parte de la selección de aeronaves de este estudio.

Modelo	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
707	80	68	34	38	61	83	118	111	59	19	10	4	11	21	7	9
727			6	95	111	135	155	160	114	55	33	41	92	91	91	61
737							4	105	114	37	29	22	23	55	51	41
747									4	92	69	30	30	22	21	27
DC-8	42	22	19	20	31	32	41	102	85	33	13	4				
DC-9					5	69	153	202	122	51	46	32	29	48	42	50
DC-10											13	52	57	47	43	19
A300														4	8	13

Tabla 3.2-5 HISTORICAL DELIVERIES: 1961-1976.
Fuentes: Boeing y Airbus

Modelo	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
707	8	13	6	3	2	8	8	8	3	9		5	4	14	5	
727	67	118	136	131	94	26	11	8								
737	25	40	77	92	108	95	82	67	115	161	165	146	174	215	218	152
747	20	32	67	73	53	26	22	16	24	23	24	45	70	64	61	56
757						2	25	18	36	40	48	51	77	80	99	71
DC-9	22	22	39	18	16	10										
DC-10	14	18	35	41	25	11	12	10	11	10	10	1				
MD-80				5	61	34	51	44	71	94	120	117	139	140	84	43
A300	15	15	26	39	38	46	19	19	16	11	17	24	19	25	22	22
A310							17	29	26	21	28	23	18	19	24	22
A320											16	58	58	119	111	71
A330																1
A340																22

Tabla 3.2-6 HISTORICAL DELIVERIES: 1977-1993.
Fuentes: Boeing y Airbus

Modelo	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
707	1															
717						12	32	49	20	12	12	13	5			
737	121	89	76	135	282	320	282	299	223	173	202	212	302	330	290	372
747	40	25	26	39	53	47	25	31	27	19	15	13	14	16	14	8
757	69	43	42	46	54	67	45	45	29	14	11	2				
777		13	32	59	74	83	55	61	47	39	36	40	65	83	61	88
MD-80	23	18	12	16	8	26										
A300	23	17	14	6	13	8	8	11	9	8	12	9	9	6		
A310	2	2	2	2	1											
A318										9	10	9	8	17	13	6
A319			18	47	53	88	112	89	85	72	87	142	137	105	98	88
A320	48	34	38	58	80	101	101	119	116	119	101	121	164	194	209	221
A321	16	22	16	22	35	33	28	49	35	33	35	17	30	51	66	87
A330	9	30	10	14	23	44	43	35	42	31	47	56	62	68	72	76
A340	25	19	28	33	24	20	19	22	16	33	28	24	24	11	13	10
A380														1	12	10

Tabla 3.2-7 HISTORICAL DELIVERIES - 1994-2009.
Fuente: Boeing y Airbus

Si se utiliza como criterio de significación la producción, a diferencia del criterio utilizado en las aeronaves más antiguas que se utilizaron datos de flota operativa en Estados Unidos, es decir se prima la cantidad de aeronaves suministradas por los fabricantes, y se seleccionan como más representativas de este periodo temporal las de mayores ventas, considerando a todos los fabricantes con respecto a ellos mismos, para que las fuertes ventas de una marca no eliminen otras aeronaves interesantes de otra. Las aeronaves que caracterizan esta era más moderna son las siguientes:

- **Boeing:** 707, 727, 737, 747, 757, 777
- **McDonnell Douglas:** DC8, DC9, DC10[13], MD80
- **Airbus:** A300, A319, A320, A321, A330, A340

A estos aviones seleccionados, se le ha añadido el Concorde, al considerarle digno de estudio al ser la aeronave comercial supersónica más importante, prestando servicio en dos importantes aerolíneas durante muchos años, si estadísticamente es muy dispar el análisis la eliminará.

[13] *Se ha incluido el DC 10 por tratarse de la primera y única aeronave comercial para transporte de pasajeros de fuselaje ancho de McDonnell Douglas.*

Aeronave	1961-1976	%	% ACUM.
B727	1.240	29,02%	29,02%
DC-9	849	19,87%	48,89%
B707	733	17,15%	66,04%
B737	481	11,26%	77,30%
DC-8	444	10,39%	**87,69%**
B747	295	6,90%	94,59%
DC-10	231	5,41%	100,00%
Deliveries	4.273	100%	

Tabla 3.2-8 ABC/HISTORICAL DELIVERIES: 1961-1976.
Fuente: Boeing

Aeronave	1977-1993	%	% ACUM.
B737	2073	33,88%	33,88%
MD-80	1088	17,78%	51,67%
B747	711	11,62%	63,29%
B727	591	9,66%	72,95%
B757	582	9,51%	**82,46%**
B767	519	8,48%	90,94%
DC-10	215	3,51%	94,46%
DC-9	127	2,08%	96,53%
MD-11	112	1,83%	98,37%
B707	100	1,63%	100,00%
Deliveries	6.118	100%	

Tabla 3.2-9 ABC/HISTORICAL DELIVERIES: 1977-1993.
Fuente: Boeing

Aeronave	1994-2009	%	% ACUM.
B737	3708	58,40%	58,40%
B777	836	13,17%	71,57%
B757	467	7,36%	**78,93%**
B767	463	7,29%	86,22%
B747	412	6,49%	92,71%
B717	155	2,44%	95,15%
MD-90	116	1,83%	96,98%
MD-80	103	1,62%	98,60%
MD-11	88	1,39%	99,98%
B707	1	0,02%	100,00%
Deliveries	6.349	100%	

Tabla 3.2-10 ABC/HISTORICAL DELIVERIES: 1994-2009.
Fuente: Boeing

En la tabla 3.2-8, probablemente no se debieran considerar de tipo A ni el B737, ni el DC8, pero se han considerado porque contribuyen en un porcentaje similar a la flota de ese intervalo temporal y porque se ha tenido en cuenta que en cualquier caso el B737 iba a estar seleccionado porque aparece como el más abundante del periodo siguiente. Y lo mismo ocurre en el segundo intervalo, se podría prescindir del B727, pero ya estaba seleccionado en el primer periodo y el B757 que lo está en el tercer y último periodo.

	Deliveries										
Year	A318	A319	A320	A321	A300	A310	A330	A340	A350	A380	TOTAL
1974					4						4
1975					8						8
1976					13						13
1977					15						15
1978					15						15
1979					26						26
Dec 70's					81						81
1980					39						39
1981					38						38
1982					46						46
1983					19	17					36
1984					19	29					48
1985					16	26					42
1986					10	19					29
1987					11	21					32
1988			16		17	28					61
1989			58		24	23					105
Dec 80's	0	0	74	0	239	163	0	0	0	0	476
1990			58		19	18					95
1991			119		25	19					163
1992			111		22	24					157
1993			71		22	22	1	22			138
1994			48	16	23	2	9	25			123
1995			34	22	17	2	30	19			124
1996		18	38	16	14	2	10	28			126
1997		47	58	22	6	2	14	33			182
1998		53	80	35	13	1	23	24			229
1999		88	101	33	8		44	20			294
Dec 90's	0	206	718	144	169	92	131	171	0	0	1631
2000		112	101	28	8		43	19			311
2001		89	119	49	11		35	22			325
2002		85	116	35	9		42	16			303
2003	9	72	119	33	8		31	33			305
2004	10	87	101	35	12		47	28			320
2005	9	142	121	17	9		56	24			378
2006	8	137	164	30	9		62	24			434
2007	17	105	194	51	6		68	11		1	453
2008	13	98	209	66			72	13		12	483
2009	6	88	221	87			76	10		10	498
Dec 00's	72	1015	1465	431	72	0	532	200	0	23	3810
TOTAL	72	1427	3049	719	1050	510	794	542	0	23	8186
	A318	A319	A320	A321	A300	A310	A330	A340	A350	A380	TOTAL

38 A330-200 + 38 A330-300

2 A340-500 + 8 A340-600

A320	A319	A330	A321	A300	A340	A310	A318	A380	A350	TOTAL
2257	1221	663	575	561	371	255	72	23	0	5998
37,63%	20,36%	11,05%	9,59%	9,35%	6,19%	4,25%	1,20%	0,38%	0,00%	100,00%
37,63%	57,99%	69,04%	78,63%	87,98%	94,16%	98,42%	99,62%	100,00%	100,00%	

Tabla 3.2-11 ABC/Airbus HISTORICAL DELIVERIES: 1974-2009.
Fuente: Airbus

Del fabricante Airbus y con el mismo criterio, se seleccionarían cuatro modelos que supondrían el 78,83% de los suministrados por el fabricante europeo. Sin embargo se han seleccionado seis modelos que suponen el 94,16% de los aviones entregados. Con un criterio 80/20 se deberían haber seleccionado sólo los primeros 4 modelos, pero se estaría eliminando el primer avión fabricado por Airbus el *A300*, así como el *A340*, el avión de

mayor tamaño fabricado por el consorcio hasta la llegada del A380, lo que le hizo el auténtico competidor de los aviones de fuselaje ancho de Boeing. Por estos criterios históricos y de relevancia económica para el mayor fabricante europeo y único competidor real de Boeing en la actualidad se han incluido entre los seleccionados.

En definitiva y teniendo en cuenta todos los criterios, los 25 aviones seleccionados han sido:

1. B737
2. B727
3. B747
4. DC8
5. DC9
6. MD80
7. B777
8. B757
9. DC10
10. A320
11. A319
12. A330
13. A300
14. A340
15. A321
16. DC3
17. DC4
18. DC6
19. DC7
20. CONVAIR 240
21. CONVAIR 340/440
22. LOCKHEED CONSTELLATION
23. LOCKHEED SUPERCONSTELLATION
24. MARTIN 404
25. CONCORDE

3.2.1 Justificación económica, técnica e histórica de la muestra elegida.

Por la forma de seleccionar las aeronaves, implícitamente se están empleando criterios económicos, técnicos e históricos, ya que el propio proceso conlleva la selección de las aeronaves más utilizadas a lo largo de diferentes periodos.

Se consigue la selección con criterios históricos al dividir el proceso en 2 grandes bloques temporales y luego subdividirlo 3 etapas por bloque, de forma que al final son 6 periodos que aseguran el que no se reste ningún protagonismo a los aviones dominantes en cada momento al ser comparados por sus herederos más modernos.

Una vez se han concretado los periodos y asegurado la representación histórica, dentro de cada periodo se han seleccionado por un criterio ABC, los aviones más utilizados por los miembros de ATA, es decir por las compañías más importantes de los Estados Unidos. Confiando en su buen criterio para optimizar las flotas, se puede colegir, que estos aviones son los aviones más importantes de cada periodo desde un punto de vista económico, ya que han marcado tanto a los fabricantes como a las aerolíneas. Además es evidente que las mejores compañías se proveen de los medios tecnológicos más avanzados y de mejor nivel en cada momento, por ello parece que este criterio de presencia masiva en sus flotas asegura tanto la vertiente económica como la técnica. Para los posibles vacíos, se han incluido ex profeso aviones como el *Concorde,* el *DC8,* el *A300* y el *A340* por lo que significaron en su momento por diferentes razones, algunas ya justificadas.

3.3. Parámetros de los aviones de estudio.

Una vez seleccionados por su relevancia los aviones de estudio, hay que completar y optimizar las variables caracterizadoras que se van a utilizar en la tesis (el proceso de depuración se efectuará en capítulo 4). En la página siguiente se muestra la tabla completa de las veinticinco aeronaves seleccionadas con todas las variables caracterizadoras que se han incluido a priori en el estudio.

Se puede observar sin hacer un análisis de correlación previo que a simple vista hay variables que van a estar muy correlacionadas (Ej. Longitud total y longitud del fuselaje) y por ello podrían ser redundantes en el estudio, por otra parte también las hay que parecen no van a afectar al rendimiento de explotación de la aeronave por parte de una aerolínea (Ej. Las relacionadas con el tren de aterrizaje) y por lo tanto su incidencia en los KPIs de dichas aerolíneas debería ser nulo. No obstante estos puntos se tratarán, como se indicaba al principio de la página en el capítulo siguiente.

De la matriz de 25 x 25 (tabla 3.3-1) obtenida al completar todas las variables de cada uno de los casos (aeronaves), se va a analizar la existencia de algún clúster, hecho que podría ser significativo a la hora de agrupar dichos casos o a la hora de simplificar variables. Este proceso se ha llevado a cabo con el software de Statsoft, Statistica-10 y se ha contrastado el resultado con el software de IBM, SPSS-20. En ambos casos se ha obtenido el mismo resultado.

En numerosas investigaciones, aparecen situaciones cuya mejor forma de resolverlas es definiendo grupos homogéneos de objetos, tanto si son individuos, como empresas, productos o incluso comportamientos. La técnica más usada para este objetivo es el análisis de clúster. El análisis de clúster agrupa a los individuos, en nuestro caso aeronaves, en conglomerados, de tal forma que los individuos del mismo conglomerado, son más parecidos entre sí que a los individuos de los otros conglomerados o grupos. Lo que se intenta es maximizar la homogeneidad de los individuos dentro de un grupo o conglomerado. Asimismo el valor teórico del análisis del clúster es el conjunto de variables que representan las características utilizadas para comparar individuos en el análisis clúster.

FABRICANTE	SERIE	DIMENSIONES (S.I)								DATOS BÁSICOS DE FUNCIONAMIENTO											PESOS					PRODUCCIÓN
		TOTAL		FUSELAJE		ALA		TREN DE ATERRIZAJE		MOTORES			PASAJEROS		CREW	ALCANCE	Mmo	Vmáx	Vcrucero	Techo						
		Longitud Total (m)	Altura Total (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Envergadura (m)	Superficie Alar (m²)	Wheelbase (Distancia entre ejes) (m)	Wheeltrack (Vía de la rueda) (m)	Tipo 1-Jet 2-Pistón	Nº	Potencia (kN) UNITARIA	clase 2ª, 2ª, 1ª	Nº máx (1class)	Pilots, co-pilots and engineers	km	mach	km/h	km/h	m	MTOW (t)	MLW(t) aterrizaje	Max Fuel Capacity(t)	Max Payload (t)	OEW (t) al vacío	nº de aeronaves totales de cada modelo utilizadas
AIRBUS	A300	54,10	16,54	5,64	54,08	44,84	260,00	18,62	9,60	1	2	259,50	266	361	2	7500	0,82	871	829	10.675	171,70	140,00	68.150	34,90	90,90	561
	A319	33,84	11,76	3,95	33,84	34,10	122,00	11,04	7,59	1	2	109,00	124	156	2	6650	0,82	871	828	12.000	75,50	62,50	30.190	13,20	40,80	1.285
	A320	37,57	11,76	3,95	37,57	34,10	122,00	12,64	7,59	1	2	115,65	150	180	2	5950	0,82	871	828	12.000	78,00	66,00	30.190	16,60	42,60	2.655
	A321	44,51	11,76	3,95	44,51	34,10	122,00	16,91	7,59	1	2	134,00	185	220	2	5600	0,82	871	828	12.000	93,50	77,80	30.030	21,20	48,50	644
	A330	61,02	17,15	5,64	60,79	60,30	362,00	23,77	10,69	1	2	303,50	292	408	2	12199	0,86	913	871	12.527	235,69	184,31	119.892	40,79	121,85	775
	A340	66,65	16,98	5,64	66,04	61,40	388,14	27,48	10,69	1	4	181,93	319	454	2	14283	0,86	913	874	12.497	311,98	214,67	167.112	44,21	145,11	375
BOEING COMMERCIAL AIPLANES	B727	45,20	10,36	3,76	40,00	32,92	157,90	18,53	5,72	1	3	72,37	127	175	3	4548	0,90	960	915	11.286	81,12	68,20	30.238	17,22	43,20	1.652
	B737	35,56	12,05	3,76	34,26	32,26	117,02	13,67	5,54	1	2	106,53	136	167	2	5208	0,82	876	811	11.952	69,49	58,72	23.538	18,85	37,29	5.271
	B747	70,50	19,35	6,50	68,61	61,98	535,31	25,61	11,00	1	4	251,79	449	532	3	12509	0,90	971	903	13.715	374,47	278,24	203.984	69,12	173,28	890
	B757	47,73	13,56	3,76	47,37	38,05	181,25	18,52	7,32	1	2	178,00	189	237	2	7176	0,86	935	869	12.800	109,63	90,47	42.726	23,86	60,26	968
	B777	67,56	18,51	6,19	66,75	62,33	427,80	27,90	10,97	1	2	440,76	375	482	2	13912	0,89	950	905	13.140	306,86	224,04	169.562	61,60	149,03	890
DOUGLAS AIRCRAFT COMPANY	DC3	19,70	5,16	2,43	19,70	29,00	91,70	11,55	5,64	2	2	7,74	21	32	3	3420	0,32	360	310	7.000	11,80	11,08	3.045	3,96	7,50	10.655
	DC4	28,62	8,38	3,25	28,62	35,80	135,60	8,35	7,52	2	4	7,97	44	66	5	6000	0,37	420	365	6.800	33,14	28,83	13.596	5,17	19,64	79
	DC6	31,61	8,70	3,25	31,61	35,81	135,90	10,37	7,52	2	4	8,39	52	85	3	5717	0,52	574	505	8.069	46,62	37,78	17.125	6,70	24,13	462
	DC7	33,79	9,24	3,25	33,79	37,47	144,88	11,58	9,21	2	4	12,18	50	102	4	8207	0,59	652	555	7.626	59,94	48,06	27.195	10,45	33,87	216
	DC8	53,02	12,95	3,73	51,68	44,57	266,64	21,41	6,34	1	4	80,94	160	229	3	7302	0,89	954	896	10.963	153,61	108,80	90.246	26,25	67,93	157
MCDONNELL DOUGLAS	DC9	36,36	8,41	3,35	32,60	28,31	92,17	16,14	5,01	1	2	68,27	107	115	2	2944	0,85	908	814	10.668	48,80	44,53	14.497	13,57	25,87	875
	DC10	55,43	17,70	6,02	51,97	49,22	364,24	22,06	10,67	1	3	209,66	250	380	5	8436	0,86	982	906	11.965	230,14	175,91	117.344	44,74	116,43	336
	MD80	44,67	9,03	3,35	41,24	32,82	112,30	21,86	5,08	1	2	67,50	153	170	2	3920	0,87	925	811	11.290	68,13	59,80	22.990	19,43	35,43	1.161
CONVAIR (CONSOLIDATED VULTEE)	cv 240	22,76	8,21	2,50	22,76	27,97	75,90	7,57	7,62	2	2	8,92	40	40	4	2900	0,49	538	435	9.150	19,00	18,07	5.860	4,24	12,52	566
	340/440	24,84	8,58	2,50	24,84	32,12	85,50	7,98	7,62	2	2	10,75	44	52	4	2783	0,46	508	455	7.516	21,59	21,16	6.589	5,98	13,70	510
LOCKHEED	Constellation L049/649	29,00	7,00	2,50	29,00	37,50	153,50	10,06	8,53	2	4	8,91	20	44	5	8000	0,48	530	443	7.620	44,50	40,63	17.130	22,35	25,10	206
	SuperConstell.L1049	35,42	7,54	2,50	35,42	38,47	153,70	13,89	11,71	2	4	12,13	95	109	5	9700	0,54	607	547	7.620	62,37	51,30	29.340	29,62	36,15	274
GLEEN L. MARTIN	martin 4-0-4	22,73	8,66	2,84	22,73	28,42	80,27	6,83	7,62	2	2	10,89	40	50	4	4160	0,45	502	448	8.340	20,49	19,61	5.200	5,63	13,21	103
AÉROSPATIALE - BAC	concorde	61,66	12,20	2,87	61,66	25,60	358,25	18,19	7,72	1	4	154,50	128	144	3	7250	2,04	2172	2124	18.300	185,00	111,13	119.500	11,40	78,70	20

Tabla 3.3-1 Aeronaves seleccionadas con los valores de sus parámetros preseleccionados.
Fuente: Esta tesis doctoral

En su búsqueda de una estructura, el análisis clúster es muy sensible a la inclusión de variables irrelevantes. Pero también es sensible a los atípicos, es decir objetos que son muy diferentes del resto.

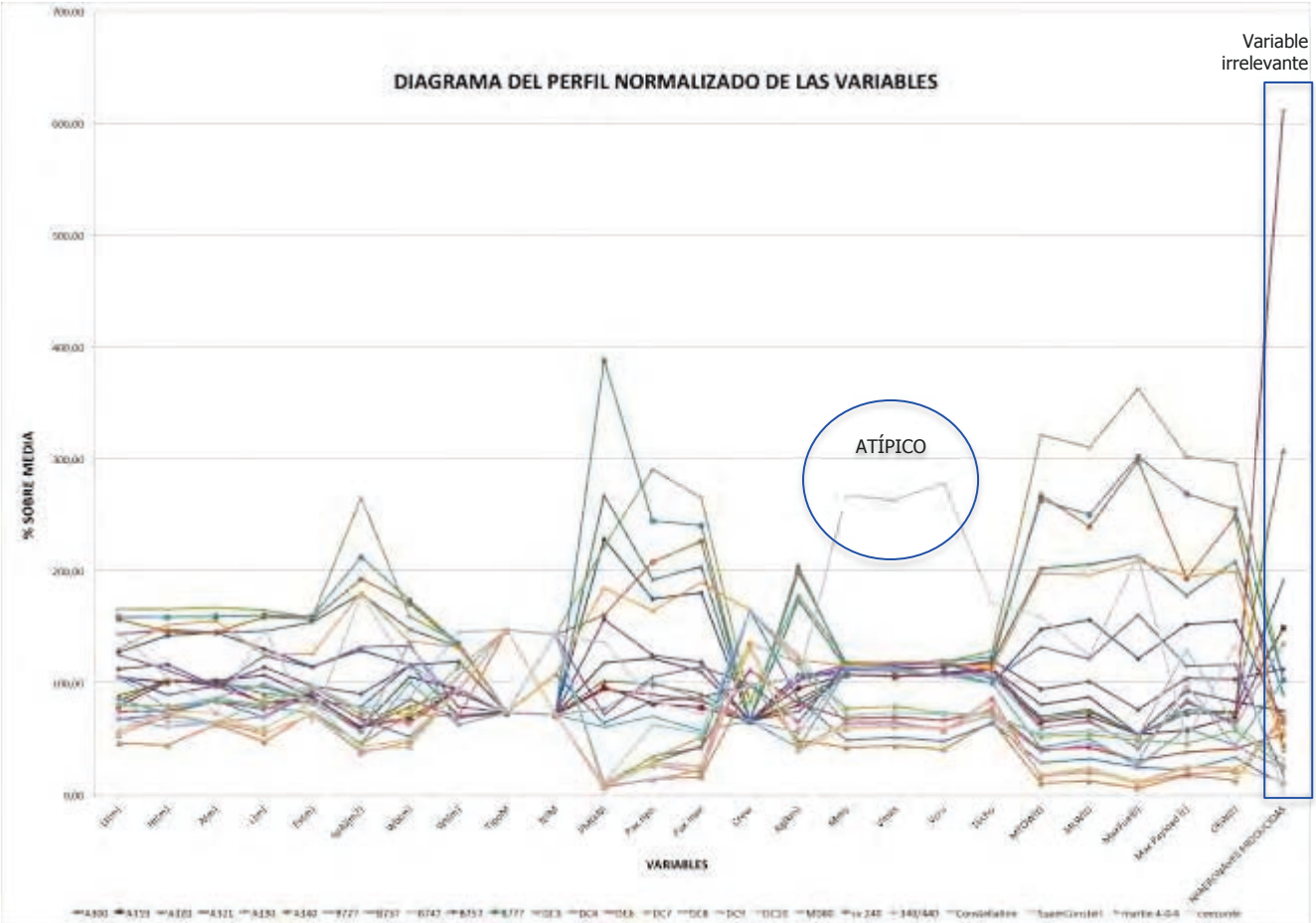


Gráfico 3.3-1 Diagrama del perfil normalizado de variables
Fuente: Esta tesis doctoral. [1]

Probablemente la forma más sencilla de llevar a cabo este estudio es preparar un perfil gráfico, tal y como se muestra sobre este texto (Gráfico 3.3-1). Este diagrama de perfil tiene las variables en el eje horizontal y los valores normalizados en tanto por ciento con respecto a la media (para que sean representables en el mismo gráfico todas las variables) en el eje vertical. Los puntos de un mismo individuo están conectados variable a variable, esto facilita el seguimiento y la comparación. Se puede ver que para 25 variables y 25 individuos el gráfico se hace incómodo por la cantidad de líneas y puntos en la misma zona. Pero en primera aproximación ya se puede ver que hay evidencias de comportamientos diferenciados tanto en variables, como en individuos.

Si se analiza la variable de número de unidades producidas, se observa que toma valores que nada tienen que ver con los datos caracterizadores de las aeronaves, por lo que forman como un punto aparte que no significa nada al no tener ninguna relación con el resto, se estaría ante una variable irrelevante para el estudio de los clúster y probablemente para caracterizar una aeronave. En la misma línea se puede ver que la aeronave Concorde, que ya se incluyó por ser la única aeronave de pasajeros supersónica, siendo la única excepción al método general de selección, se puede ver que es un atípico, su perfil difiere del resto que respeta las mismas tendencias.

Una vez identificados el atípico y la variable irrelevante, se va a proceder al análisis clúster, eliminando ambos, quedando una matriz de 24x24.

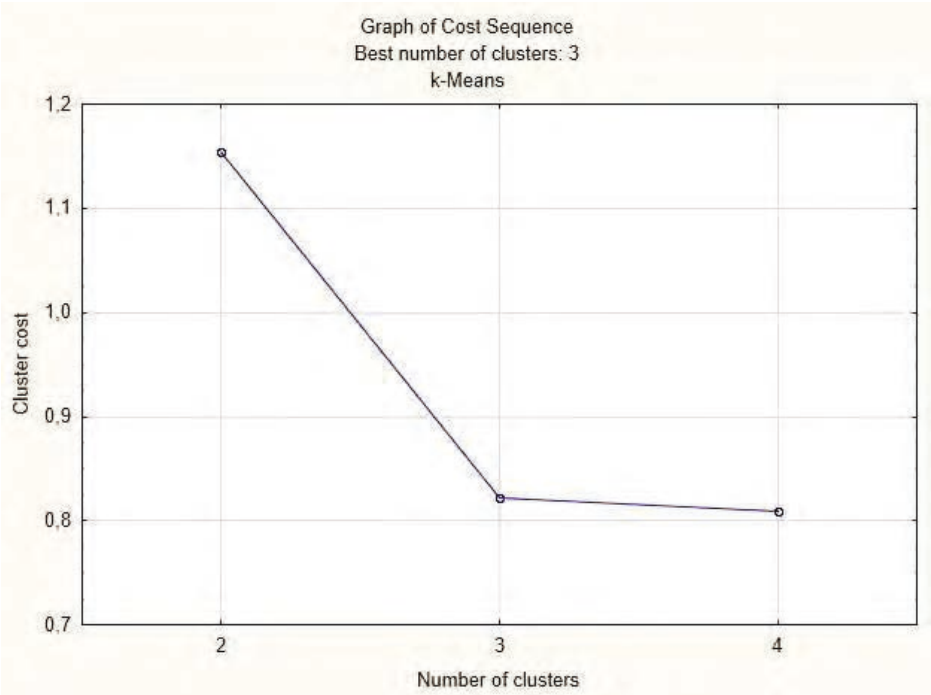


Gráfico 3.3-2 Gráfico de Secuencia de coste por clúster
Fuente: Statistica 10 para esta tesis doctoral.

Se puede apreciar en el Gráfico 3.3-2 que a partir de tres clúster la aportación de un nuevo conglomerado no aporta mayor precisión ya que la diferencia de Cluster cost entre utilizar 3 o 4 es mínima. Por ello se seleccionan tres conglomerados que es lo que seleccionan las dos herramientas estadísticas utilizadas. En ambos casos utilizan como algoritmo de clúster un método jerárquico denominado del centroide. El método del centroide utiliza la distancia (normalmente Euclídea simple o cuadrática) entre sus centroides. Los centroides de los grupos son los valores medios de las observaciones de las variables en el valor teórico del conglomerado. En éste método, cada vez que se agrupa individuos, se calcula un nuevo

centroide. Los centroides de los grupos cambian a medida que se fusionan conglomerados. En otras palabras hay un cambio de centroide de un grupo cada vez que un nuevo individuo o grupo de individuos se añade a un conglomerado existente. Se llega al resultado por iteración. La ventaja de éste método es que se ve menos afectado por los atípicos que otros métodos jerárquicos. En la tabla 3.3-2 se pueden ver el valor de las variables en los centroides de los tres clúster (conglomerados) y en la 3.3-3 la distancia Euclídea entre los centroides.[1]

CLUSTER	1	2	3
Lt(m)	62,54	27,61	42,05
Ht(m)	17,70	7,94	11,29
A(m)	5,94	2,78	3,73
L(m)	61,37	27,61	40,34
Ev(m)	56,68	33,62	34,58
SpAl(m2)	389,58	117,44	143,70
Wb(m)	24,24	9,80	16,75
Wt(m)	10,60	8,11	6,42
TipoM	1,00	2,00	1,00
NºM	2,83	3,11	2,33
PM(kN)	274,52	9,76	105,81
Pax.tipo	323,13	45,08	147,90
Pax.max	435,96	66,67	183,17
Crew	2,58	4,17	2,22
Rg(km)	11.473,28	5.542,94	5.477,61
Mmo	0,87	0,47	0,85
Vmáx	933,40	521,14	907,90
Vcru	881,73	451,37	844,57
Techo	12.419,86	7.749,12	11.662,13
MTOW(t)	271,81	35,49	86,42
MLW(t)	202,86	30,73	70,76
MaxFuel(l)	141.007,30	13.897,78	34.960,58
Max Payload (t)	49,23	10,68	18,91
OEW(t)	132,77	20,65	44,65
Number of cases	6	9	9
Percentage(%)	25,00	37,50	37,50

Tabla 3.3-2 CENTROIDS FOR K-MEANS CLUSTERING

CLUSTER	1	2	3
1	0,000000	10,270680	4,293631
2	10,270680	0,000000	3,813520
3	4,293631	3,813520	0,000000

Tabla 3.3-3 Standarized distance between CENTROIDS FOR K-MEANS CLUSTERING

Fuente: Statistica 10 para esta tesis doctoral

Para seguir el análisis clúster, con las herramientas estadísticas anteriormente mencionadas se han calculado las distancias Euclídeas simples y cuadráticas para todos los casos en los distintos conglomerados, identificando los criterios de similitud que cada conglomerado parece haber establecido (Tabla 3.3-4), además se ha representado el Dendrograma aglomerativo de conglomerados jerárquicos (Tree Diagram) para los 24 casos calculado con distancias Euclídeas al cuadrado (Gráfico 3.3-3).

INDIVIDUOS POR CLÚSTER Y CRITERIO PRINCIPAL DEL CONGLOMERADO

FABRICANTE	SERIE	Final classification clúster	Distance to centroid (Euclidea)	Distance to centroid (Squared Euclidean)		
AIRBUS	A300	1	1,09	1,19	FUELAJE ANCHO (>300PAX.)	JET
AIRBUS	A330	1	0,55	0,30		
AIRBUS	A340	1	0,77	0,60		
BOEING	B747	1	1,06	1,13		
BOEING	B777	1	0,79	0,62		
MCDONNELL DOUGLAS	DC10	1	0,99	0,97		
CONVAIR	340/440	2	0,64	0,99	PISTÓN	CLASSICS
CONVAIR	cv 240	2	0,71	0,41		
DOUGLAS	DC3	2	0,99	0,34		
DOUGLAS	DC4	2	0,64	0,50		
DOUGLAS	DC6	2	0,58	0,51		
DOUGLAS	DC7	2	0,70	0,42		
GLEEN L. MARTIN	martin 4-0-4	2	0,65	0,40		
LOCKHEED	Constellation	2	0,63	0,95		
LOCKHEED	SuperConstell.	2	0,97	0,43		
AIRBUS	A319	3	0,47	0,22	FUSELAJE ESTRECHO (<250 PAX.)	JET
AIRBUS	A320	3	0,37	0,13		
AIRBUS	A321	3	0,33	0,11		
BOEING	B727	3	0,51	0,26		
BOEING	B737	3	0,37	0,14		
BOEING	B757	3	0,51	0,26		
DOUGLAS	DC8	3	1,14	1,31		
MCDONNELL DOUGLAS	DC9	3	0,61	0,37		
MCDONNELL DOUGLAS	MD80	3	0,47	0,22		

Tabla 3.3-4 Clasificación de las aeronaves por clúster, distancias Euclídeas simples y cuadráticas. Identificación del criterio patrón de cada clúster.
Fuente: Statistica 10 para esta tesis doctoral.

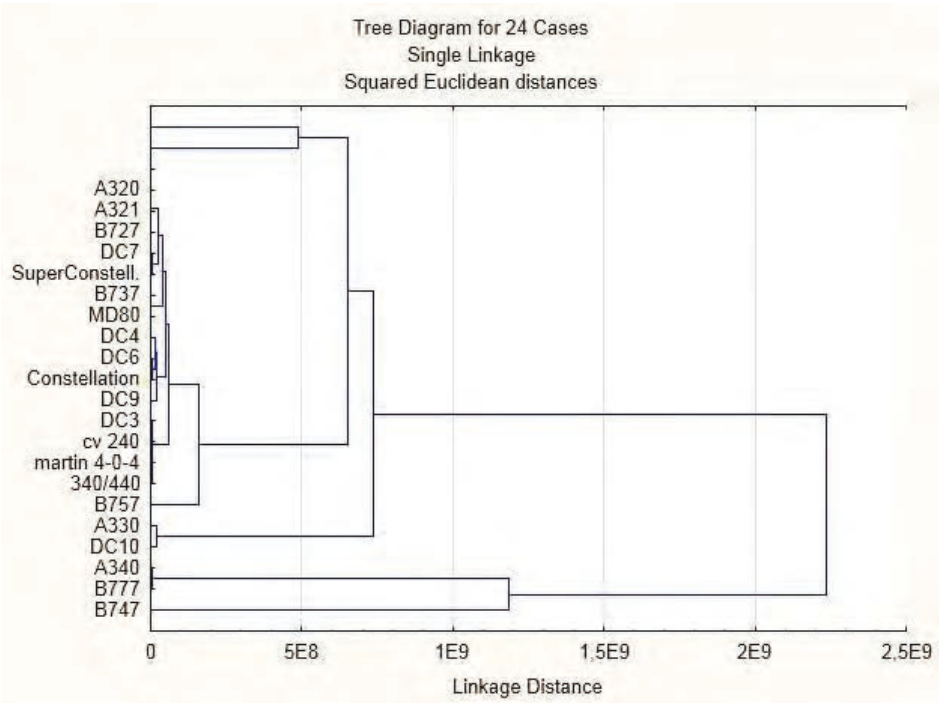


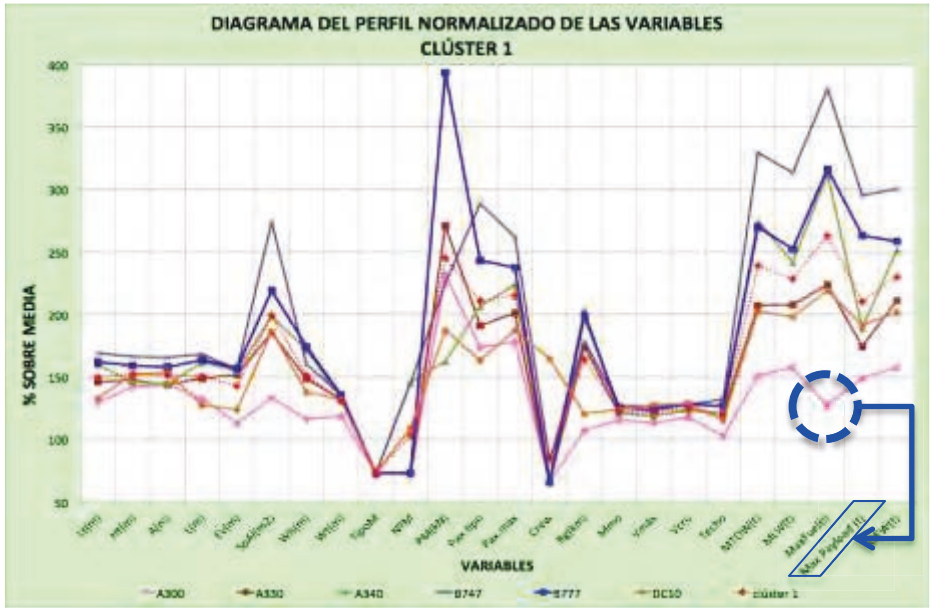
Gráfico 3.3-3 Dendrograma aglomerativo de conglomerados jerárquicos para los 24 casos calculado con distancias Euclídeas al cuadrado
Fuente: Statistica 10 para esta tesis doctoral.

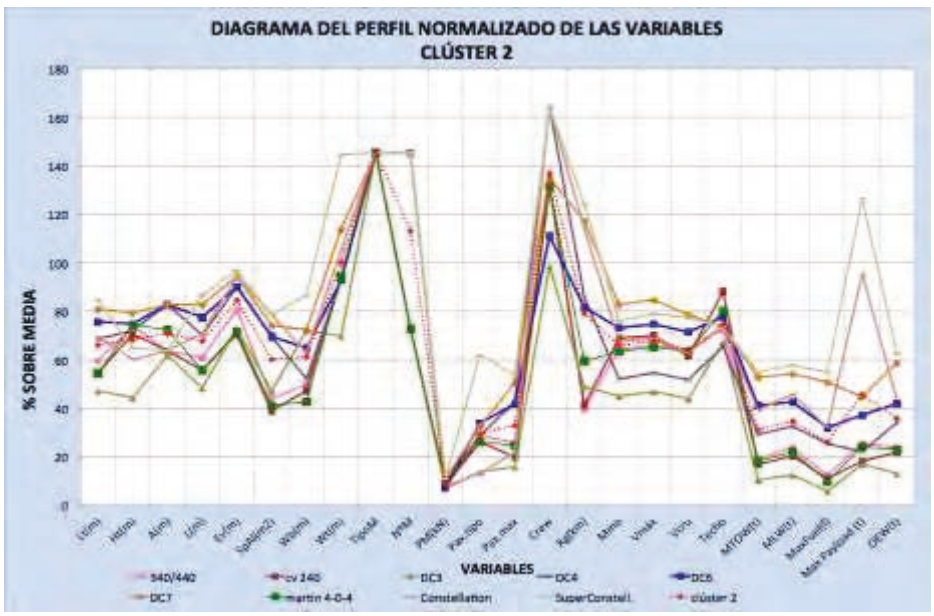
Se puede observar que del **análisis clúster** salen corroboradas las **hipótesis de separar** para la selección de aeronaves, el grupo de **aeronaves con motor de pistón**, también llamadas en algún momento de esta tesis aeronaves clásicas o antiguas, **de los reactores**, que se habían identificado con las aeronaves de pasajeros más recientes, todas ellas en servicio en años posteriores a 1960. Resultando muy interesante la **discriminación por tamaño** que hace entre estas **aeronaves con motor a reacción** o turbina, entre **aeronaves de fuselaje ancho** y **aeronaves de fuselaje estrecho** o de pasillo único.

Para verificar si existe algún atípico dentro de cada clúster, hay que analizarlos por separado, bien con un diagrama de perfiles similar al utilizado en el gráfico 3.3-1 o bien con un dendrograma independiente para cada clúster como el utilizado en el gráfico 3.3-3. Se ha optado por realizar el perfil de cada conglomerado y a la vista del mismo se valorará la necesidad de un análisis más fino.

En la página siguiente se pueden ver los diagramas de perfiles para los tres conglomerados independientes (gráficos 3.3-4). En ellos se puede observar que los clúster son homogéneos y que no hay ningún atípico claro. Se ha marcado el A300 en el gráfico del clúster 1 y el DC8 en el gráfico del clúster 3, ambos en la variable MaxFuel (t) (toneladas máximas de combustible que puede cargar), ya que a diferencia del resto de casos del clúster, van hacia el sentido contrario que las demás aeronaves según el eje de ordenadas. Analizando en conjunto el resto de variables, mantienen una total coherencia por lo que esta anomalía no se considera suficiente para etiquetarlas como atípicos.

Profundizando en el estudio de las causas de las anomalías, es decir, en la variable y las aeronaves en las que se detectan, se puede observar que la carga de combustible va muy ligada al alcance, a la potencia global de los motores (nº de motores x Potencia individual) y a la antigüedad de la aeronave, ya que los motores cada vez tienen una mayor eficiencia. En este sentido, ambas aeronaves son antiguas en el contexto del clúster, por lo que cabe esperar un comportamiento diferente. En el caso del A300 en el clúster 1, hay que señalar que es la aeronave de menor alcance, 7500 Km frente a los casi 11.500 del centroide del clúster y poco más de la mitad que el A340 que es otro caso del conglomerado, además monta sólo 2 motores, por lo que la carga de combustible es lógicamente menor.





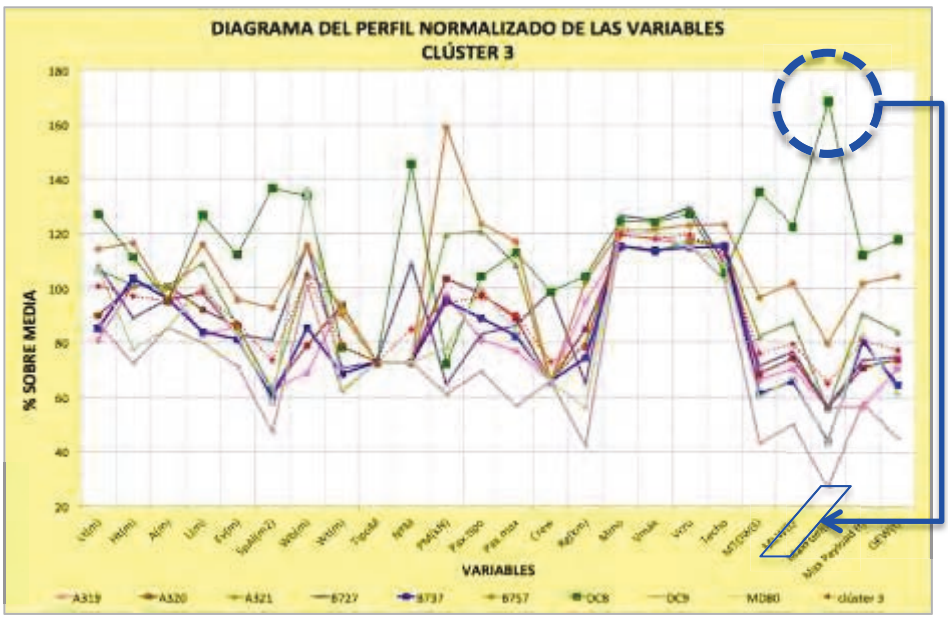


Gráfico 3.3-4a-b-c Diagrama de perfil normalizado de las variables por clúster.
Fuente: Esta tesis doctoral [1].

En el caso del DC8, lo que le penaliza es su antigüedad y el hecho de montar 4 motores (único que lo hace en el conglomerado), es una aeronave que nace en 1959 y para rendimientos similares, tiene un mayor consumo, por ello carga más combustible. Conviene destacar que en ningún caso afecta a la coherencia del conglomerado, ya que el hilo conductor de estos clúster era tener un motor jet y su factor discriminante era el tamaño, como se indica en la tabla 3.3-4. Se adjuntan los gráficos de variables relacionadas con el tamaño para ver la distribución de los clúster y garantizar la coherencia de los mismos, no obstante en el capítulo 4 se profundizará más durante el análisis de las variables.

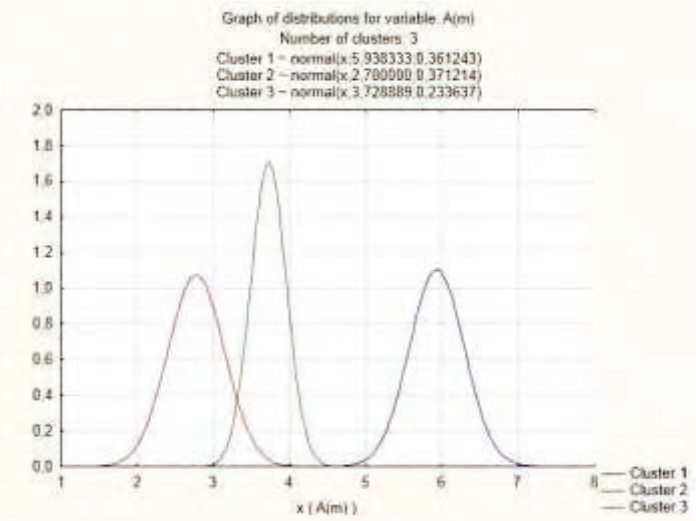


Gráfico 3.3-5a Gráfico de distribución por Ancho del fuselaje (A) en cada clúster.
Fuente: Statistica 10 para esta tesis doctoral.

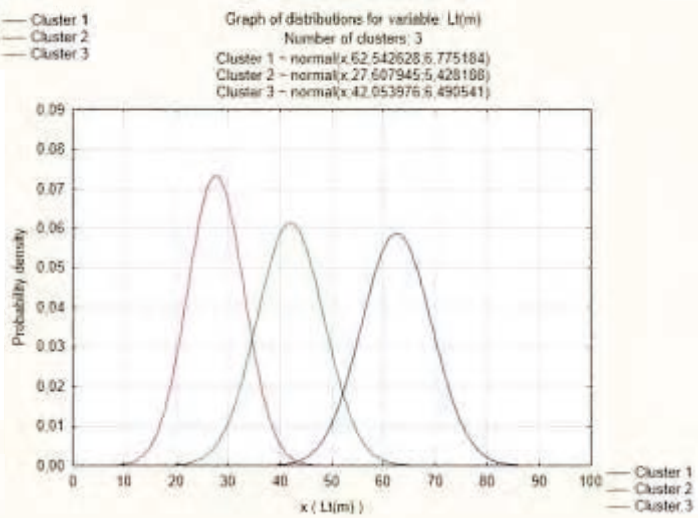


Gráfico 3.3-5b Gráfico de distribución por longitud total (Lt) en cada clúster.
Fuente: Statistica 10 para esta tesis doctoral.

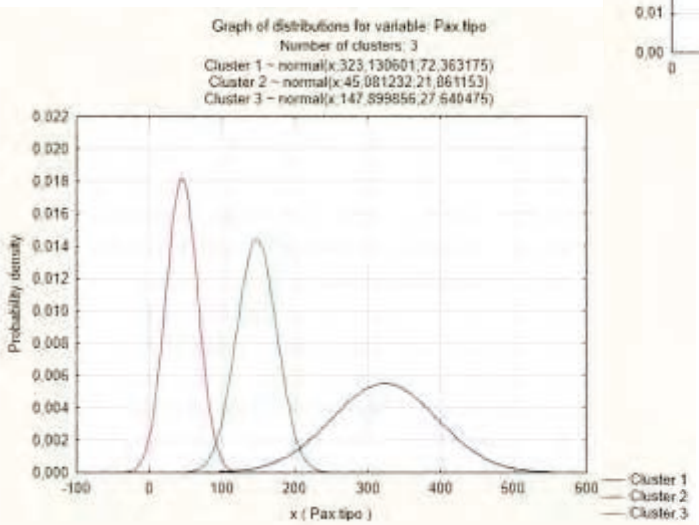


Gráfico 3.3-5c Gráfico de distribución por Pasaje tipo (Pax.tipo) en cada clúster.
Fuente: Statistica 10 para esta tesis doctoral.

Capítulo 4

ANÁLISIS MULTIVARIANTE DE LA MUESTRA

4.1. Matriz de datos.

En el capítulo 3 se han seleccionado los aviones representativos del periodo de estudio, explicando los motivos por los que hay que trabajar con una muestra y justificando que ello no implica pérdida de generalidad. Además se han seleccionado 24 variables caracterizadoras, que representan inequívocamente a cada aeronave e incorporan los adelantos tecnológicos de todo el periodo de estudio.

En este capítulo 4 se van a analizar estadísticamente las variables caracterizadoras seleccionadas en el capítulo anterior. De manera que como en todo análisis estadístico el objetivo es conocer la población de estudio. Gracias a ello se podrán optimizar las variables en número y se podrán prever potenciales problemas en la parte de cálculo del modelo predictivo final que tengan su origen en una mala selección de esta muestra. En este proceso de optimización se intentará asegurar que no hay redundancias o colinealidad y valorar algún tipo de violación en la selección de la muestra. Es conveniente advertir, que como el objetivo de esta tesis es la relación entre las variables caracterizadoras que se estudiarán en este capítulo y los KPIs, el hecho de que existan algunas excepciones o el que se detecte alguna desviación del coportamiento esperado no será definitivo para invalidarlo.

A partir de aquí, una vez se corrobora el análisis clúster, observando que tiene sentido y es coherente con el resto de la tesis, el siguiente paso es llevar a cabo el análisis multivariante de la matriz de datos. Por ello tras el estudio llevado a cabo en el capítulo 3, ha quedado definida la matriz de datos como una muestra de 24 individuos o casos que son las 24 aeronaves y 24 variables para cada caso, que son los parámetros de las aeronaves, es decir

24 vectores de 24 componentes cada uno. Dicha matriz seleccionada definitivamente para el análisis multivariante se puede ver en la tabla 4.1-1.

La matriz de datos se ha organizado en esta ocasión agrupando los casos que pertenecen al mismo conglomerado (casos del 1 al 6 pertenecen al clúster 1, del 7 al 15 son los del clúster 2 y del 16 al 24 los del clúster 3, como se puede comprobar en la tabla 3.3-4). Los datos se han ordenado de esta manera para facilitar su posterior análisis, que en primer lugar será puramente estadístico, con un estudio previo univariante que incluye un análisis de normalidad, para proseguir con el análisis multivariante, cálculo de matriz de varianzas y covarianzas, variabilidad, homocedasticidad y correlación. Una vez se corrobore la solidez de la muestra se intentará obtener una selección de las variables caracterizadoras basada en los estudios correlacionales, y si las variables lo permiten, se refrendará con el análisis factorial y el análisis de componentes principales.

La matriz de datos $\mathcal{X}$, es tal que cada individuo $\mathbf{X_i}$ tiene $\mathbf{x_{ij}}$ valores de las variables.

De forma que por ejemplo $\mathbf{x_{4,14} = 3}$, es decir el individuo o **caso número 4 ($\mathbf{X_4}$ = B747)** tiene como variable en la posición 14 (tripulación del avión-**crew**) un valor de 3, es decir 3 tripulantes.

SERIE	Lt(m)	Ht(m)	A(m)	L(m)	Ev(m)	SpAl (m2)	Wb (m)	Wt (m)	Tipo M	NºM	PM (kN)	Pax. tipo	Pax. max	Crew	Rg (km)	Mmo	Vmáx	Vcru	Techo	MTOW (t)	MLW (t)	Max Fuel (l)	Max Payload (t)	OEW (t)
A300	54,10	16,54	5,64	54,08	44,84	260,00	18,62	9,60	1	2	259,50	266,00	361,00	2	7500	0,82	871,00	829,00	10675	171,70	140,00	68150	34,90	90,90
A330	61,02	17,15	5,64	60,79	60,30	362,00	23,77	10,69	1	2	303,50	292,40	407,72	2	12199	0,86	913,00	871,00	12527	235,69	184,31	119892	40,79	121,85
A340	66,65	16,98	5,64	66,04	61,40	388,14	27,48	10,69	1	4	181,93	315,98	453,65	2	14283	0,86	913,00	874,44	12497	311,99	214,67	167112	44,21	145,11
B747	70,50	19,35	6,50	68,61	61,98	535,31	25,61	11,00	1	4	251,79	442,13	531,76	3	12509	0,90	971,39	902,93	13715	374,47	278,24	203984	69,12	173,28
B777	67,56	18,51	6,19	66,75	62,33	427,80	27,90	10,97	1	2	440,76	372,27	481,65	2	13912	0,89	950,00	905,00	13140	306,88	224,04	169562	61,60	149,03
DC10	55,43	17,70	6,02	51,97	49,22	364,24	22,06	10,67	1	3	209,66	250,00	380,00	5	8436	0,88	982,00	908,00	11965	230,14	175,91	117344	44,74	116,43
340/440	24,84	8,58	2,50	24,84	32,12	85,50	7,98	7,62	2	2	10,75	44,00	52,00	4	2783	0,46	507,98	454,63	7516	21,59	21,16	6589	5,98	13,70
cv 240	22,76	8,21	2,50	22,76	27,97	75,90	7,57	7,62	2	2	8,92	40,00	40,00	4	2900	0,49	538,00	435,00	9150	19,00	18,07	5860	4,24	12,52
DC3	19,70	5,16	2,43	19,70	29,00	91,70	11,55	5,64	2	2	7,74	21,00	32,00	3	3420	0,32	360,00	310,00	7000	11,80	11,08	3045	3,96	7,50
DC4	28,62	8,38	3,25	28,62	35,80	135,60	8,35	7,52	2	4	7,97	44,00	86,00	5	6000	0,37	420,00	365,00	6800	33,14	28,83	13596	5,17	19,64
DC6	31,61	8,70	3,25	31,61	35,81	135,90	10,37	7,52	2	4	8,39	51,74	84,68	3	5717	0,52	573,74	504,74	8069	46,62	37,76	17125	8,70	24,13
DC7	33,79	9,24	3,25	33,79	37,47	144,88	11,58	9,21	2	4	12,18	49,99	102,33	4	8207	0,59	651,56	555,00	7628	59,94	48,06	27195	10,45	33,87
martin 4-0-4	22,73	8,66	2,84	22,73	28,42	80,27	6,83	7,62	2	2	10,89	40,00	50,00	4	4160	0,45	502,00	448,00	8340	20,49	19,61	5200	5,63	13,21
Constellatio	29,00	7,00	2,50	29,00	37,50	153,50	10,06	8,53	2	4	8,91	20,00	44,00	5	8000	0,48	530,00	443,00	7620	44,50	40,63	17130	22,35	25,10
SupConstell	35,42	7,54	2,50	35,42	38,47	153,70	13,89	11,71	2	4	12,13	95,00	109,00	5	8700	0,54	607,00	547,00	7620	62,37	51,30	29340	29,62	36,15
A319	33,84	11,76	3,95	33,84	34,10	122,00	11,04	7,59	1	2	109,00	124,00	156,00	2	6650	0,82	871,00	828,00	12000	75,50	62,50	30190	13,20	40,80
A320	37,57	11,76	3,95	37,57	34,10	122,00	12,64	7,59	1	2	115,65	150,00	180,00	2	5950	0,82	871,00	828,00	12000	78,00	66,00	30190	16,60	42,60
A321	44,51	11,76	3,95	44,51	34,10	122,00	16,91	7,59	1	2	134,00	185,00	220,00	2	5600	0,82	871,00	828,00	12000	93,50	77,80	30030	21,20	48,50
B727	45,20	10,36	3,76	40,00	32,92	157,90	18,53	5,72	1	3	72,37	127,10	174,71	3	4548	0,90	960,00	914,54	11286	81,12	68,20	30238	17,22	43,20
B737	35,59	12,05	3,76	34,26	32,26	117,02	13,67	5,54	1	2	106,53	136,19	167,01	2	5208	0,82	876,00	810,68	11952	69,49	58,72	23538	18,85	37,29
B757	47,73	13,56	3,76	47,37	38,05	181,25	18,52	7,32	1	2	178,00	189,24	237,13	2	7176	0,86	935,00	868,80	12800	109,63	90,47	42726	23,86	60,26
DC8	53,02	12,95	3,73	51,68	44,57	266,64	21,41	6,34	1	4	80,94	159,67	228,87	3	7302	0,89	954,28	897,66	10963	153,61	108,80	90246	26,25	67,93
DC9	36,36	8,41	3,35	32,60	28,31	92,17	16,14	5,01	1	2	68,27	106,51	114,93	2	2944	0,85	907,79	814,43	10668	48,80	44,53	14497	13,57	25,87
MD80	44,67	9,03	3,35	41,24	32,82	112,30	21,86	5,08	1	2	87,50	153,39	169,87	2	3920	0,87	925,00	811,00	11290	68,13	59,80	22990	19,43	35,43

Tabla 4.1-1 Matriz de datos 24x24.
Fuente: Esta tesis doctoral.

4.2. Análisis multivariante de la matriz de datos.

Describir los datos multivariantes supone estudiar cada variable aisladamente y, además las relaciones entre ellas. Por lo que este análisis multivariante **comenzará** por el **análisis univariante de cada variable**, es decir se calcularán estadísticos como la media o la mediana, la desviación típica y la varianza, además de medidas que ayuden a conocer las características individuales y relativas de las variables, tales como el coeficiente de variación (mide la variabilidad relativa para que no dependa de las unidades de medida y se puedan comparar unas variables con otras), el coeficiente de asimetría, el coeficiente de homogeneidad y el coeficiente de kurtosis, además se valorará su proximidad o no a una distribución normal [5]. Todo ello es de gran interés para conocer las propiedades y el modelo de distribución de los datos, aunque no será determinante para la tesis.

A continuación, con toda la información del análisis univariante se procederá al estudio estadístico multivariante del conjunto de todas variables simultáneamente, para valorar las relaciones entre ellas. Se pretende valorar en primera aproximación su idoneidad.

4.2.1. Análisis univariante

En la tabla adjunta se pueden observar los estadísticos calculados para cada una de las variables de la matriz de datos, en el apartado 4.2-2, se adjunta la tabla equivalente propuesta por la herramienta estadística SPSS:

ESTADÍSTICO	Lt(m)	Ht(m)	A(m)	L(m)	Ev (m)	SpAl (m2)	Wb (m)	Wt (m)	TipoM	N°M	PM (kN)	Pax. tipo
MEDIA	41,76	11,64	3,93	40,82	39,74	195,32	16,01	8,10	1,38	2,75	111,97	153,15
mediana	36,97	11,06	3,75	36,50	35,81	140,39	15,02	7,61	1,00	2,00	84,22	131,65
D.TÍPICA	14,72	4,01	1,27	14,34	10,99	125,37	6,38	2,00	0,48	0,92	112,64	114,53
VARIANZA	216,54	16,09	1,61	205,49	120,77	1,57E+04	40,71	4,01	0,23	0,85	1,27E+04	1,31E+04
(1) COEF.VAR.	0,35	0,34	0,32	0,35	0,28	0,64	0,40	0,25	0,35	0,34	1,01	0,75
(2) COEF.ASIM.	0,43	0,51	0,72	0,52	1,08	1,26	0,33	0,22	0,52	0,51	1,17	0,87
(3) COEF.HOMOG.	1,12	1,03	1,23	1,18	1,84	2,42	0,92	0,93	0,27	0,37	2,89	1,92
(4) KURTOSIS	2,12	2,03	2,23	2,18	2,84	3,42	1,92	1,93	1,27	1,37	3,89	2,92

ESTADÍSTICO	Pax. max	Crew	Rg (km)	Mmo	Vmáx	Vcru	Techo	MTOW (t)	MLW (t)	Max Fuel (l)	Max Payload (t)	OEW (t)
MEDIA	202,68	3,04	7001,03	0,71	769,24	706,41	10384,18	113,67	88,77	5,36E+04	23,40	57,68
mediana	168,44	2,75	6325,00	0,82	871,00	821,21	11124,50	72,50	61,15	2,97E+04	19,14	39,05
D.TÍPICA	149,52	1,15	3306,91	0,20	201,32	205,05	2188,75	101,72	72,80	5,76E+04	17,47	47,43
VARIANZA	2,24E+04	1,32	1,09E+07	0,04	4,05E+04	4,20E+04	4,79E+06	1,03E+04	5,30E+03	3,32E+09	305,32	2250,00
(1) COEF.VAR.	0,74	0,38	0,47	0,28	0,26	0,29	0,21	0,89	0,82	1,07	0,75	0,82
(2) COEF.ASIM.	0,81	0,59	0,80	-0,66	-0,65	-0,61	-0,32	1,22	1,16	1,36	1,07	1,12
(3) COEF.HOMOG.	1,42	0,82	1,79	0,77	0,82	0,68	0,59	2,29	2,21	2,53	2,43	1,98
(4) KURTOSIS	2,42	1,82	2,79	1,77	1,82	1,68	1,59	3,29	3,21	3,53	3,43	2,98

(1) Cv <=1 variación tolerable

(2) Ca = 0 SIMÉTRICO; Ca > 1 ASIMÉTRICO

(3) Ch<1,5 homogéneas; Ch>2,5 tienden a mayor heterogenidad cuanto mayor sean

(4) K<2,5 homogéneas; k>3,5 aumenta la heterogenidad con su valor

Variable categórica

Variable continua

Tabla 4.2-1 Estadísticos del Análisis Univariante de la Matriz de datos 24x24.
Fuente: Esta tesis doctoral.

La tabla se ha confeccionado con las expresiones habituales para los estadísticos buscados [5], por lo que teniendo en cuenta que la ***media*** medirá en una variable binaria o categórica la frecuencia relativa con la que aparece el atributo y para una numérica o continua es el centro de gravedad o geométrico, se calcula con la expresión:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_{ij}$$

Si se definen las ***desviaciones*** mediante $\boldsymbol{d_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}$, donde el cuadrado se toma para prescindir del signo, se calcularía la ***desviación típica*** como:

$$\boldsymbol{s_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} d_{ij}}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_{ij} - \bar{x}_j\right)^2}{n}}}$$

y su cuadrado que es la ***varianza***, sería $s_j^2 = \sum_{i=1}^{n} d_{ij}/n$.

Para comparar la variabilidad se define el ***coeficiente de variación*** como $CV_j = \sqrt{s_j^2 / \bar{x}_j^2}$, donde de nuevo se toman los cuadrados para prescindir del signo y con la hipótesis de que la media es en todos los casos distinta de cero, lo cual es lógico dado lo que representan las variables. Este coeficiente de variación sirve para comparar distribuciones o variables, de forma que a mayor CV_j mayor dispersión de los datos, interesando por ello que tenga un valor lo más pequeño posible, pero no siendo un condicionante el que no sea así, por ejemplo una distribución exponencial tendría un CV_j =1. Las que tienen el coeficiente de variación menor que uno se consideran de baja varianza y las que lo tienen mayor que uno de alta varianza. Este coeficiente también se puede hallar en tanto por ciento.

En el caso de las variables estudiadas, se pueden considerar de baja varianza todas, con la excepción no grave al ser sólo ligeramente mayores que 1, de Potencia unitaria de los motores de la aeronave —PM(kN)" y Máxima capacidad de combustible de la aeronave —MaxFuel (l)".

En tercer lugar se han calculado los ***coeficientes de asimetría***, que miden la simetría de los datos respecto a su centro, y se calculan como:

$$A_j = \frac{1}{n}\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_{ij} - \bar{x}_j\right)^3}{s_j^3}$$

Este coeficiente sería cero para una variable simétrica y cuando se hace mayor que uno se puede considerar que los datos son claramente asimétricos. En la tabla 4.2-1 se puede ver que existen algunas variables de comportamiento asimétrico y otras con distribuciones de mayor simetría.

Para terminar esta parte, se han calculado los ***coeficientes de kurtosis (K_j) y homogeneidad (H_j)***, relacionados entre si y muy interesantes para medir la relación entre la variabilidad de las desviaciones y la desviación media. La expresión que se ha utilizado es:

$$H_j = \frac{1}{n}\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_{ij} - \bar{x}_j\right)^4}{s_j^4} - 1 = K_j - 1$$

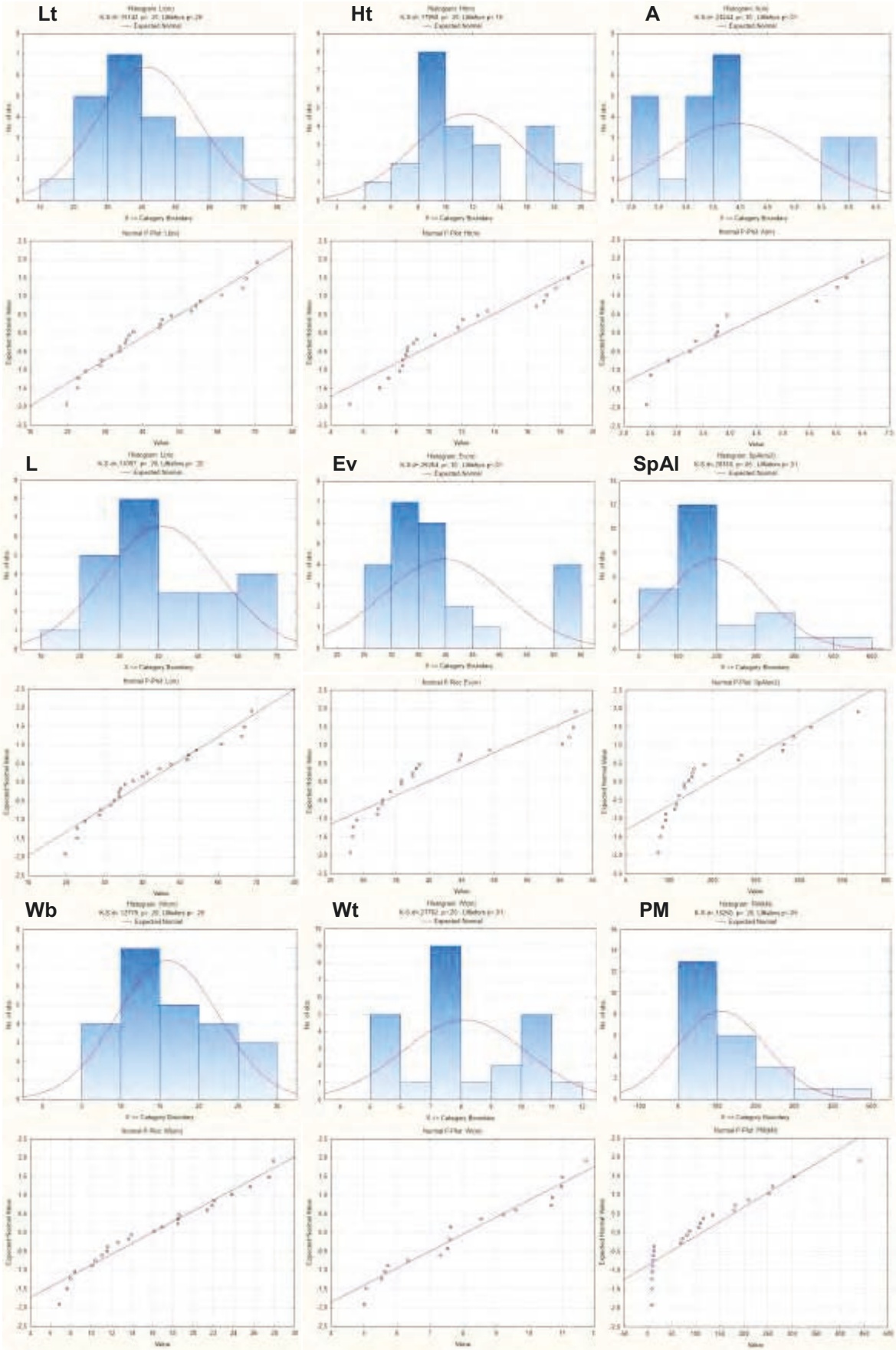
Se puede ver que el coeficiente de homogeneidad y el de kurtosis difieren en una unidad. Es fácil comprobar que:

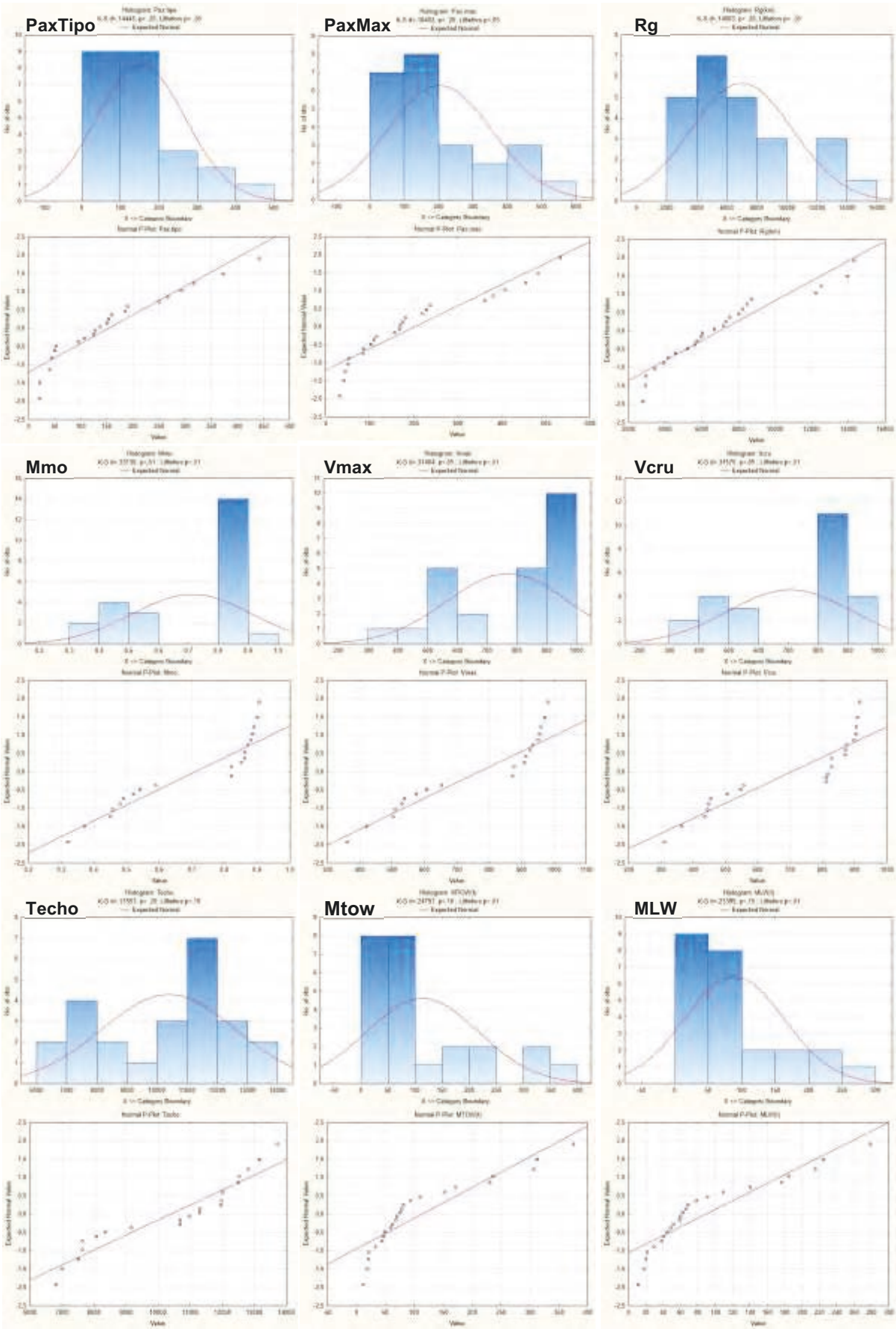
1. Para pocos datos atípicos alejados del resto, se tiene una variabilidad grande, con los coeficientes H_j y K_j de valor alto.
2. Si los datos se dividen en dos mitades muy alejadas entre sí, es decir dos grupos de datos distintos se tiene un H_j muy pequeño, llegando incluso a cero si da la casualidad de compensarse exactamente.
3. Existen autores que utilizan $K_j' = K_j - 3$, donde se le ha sustraído 3 (que es la kurtosis de la Normal) con objeto de generar un coeficiente que valga 0 para la Normal y tome a ésta como referencia de apuntamiento (ej. el programa SPSS-20).

Los valores extremos distorsionan el conjunto, pero tal y como se ha hecho la selección de la muestra es razonable que existan varias poblaciones mezcladas. De hecho, se ha podido comprobar en el estudio de los conglomerados que se distinguen con bastante claridad 3 grupos muy diferentes entre sí. En cualquier caso el coeficiente de kurtosis es de gran utilidad en este objetivo, ya que tomará un valor alto, mayor de 7 u 8, si se tienen observaciones contaminadas que puedan invalidar el estudio, lo que no sucede en ningún caso con las variables utilizadas y los casos seleccionados.

Una vez comprobados los estadísticos, se considera interesante, aunque no determinante, verificar la proximidad a la normal de las variables continuas o numéricas, ya que las categóricas es evidente que no será así. Según Hair [1] el supuesto fundamental del análisis multivariante es la normalidad de los datos, en una alusión evidente a que el perfil de distribución de los datos siga una distribución normal. Por ello en las páginas siguientes, se representan los histogramas y los gráficos Normal-P calculados con la herramienta Statistica-10, que van a facilitar la verificación buscada. En los gráficos siguientes se representan los histogramas y los gráficos Normal-P para cada una de las variables caracterizadoras preseleccionadas en las 24 aeronaves de la muestra.

Gráfico 4.2-1. Histogramas y Normal-P Plot para las variables.
Fuente: Statistica 10 para esta tesis doctoral.




PaxTipo
PaxMax
Rg
Mmo
Vmax
Vcru
Techo
Mtow
MLW

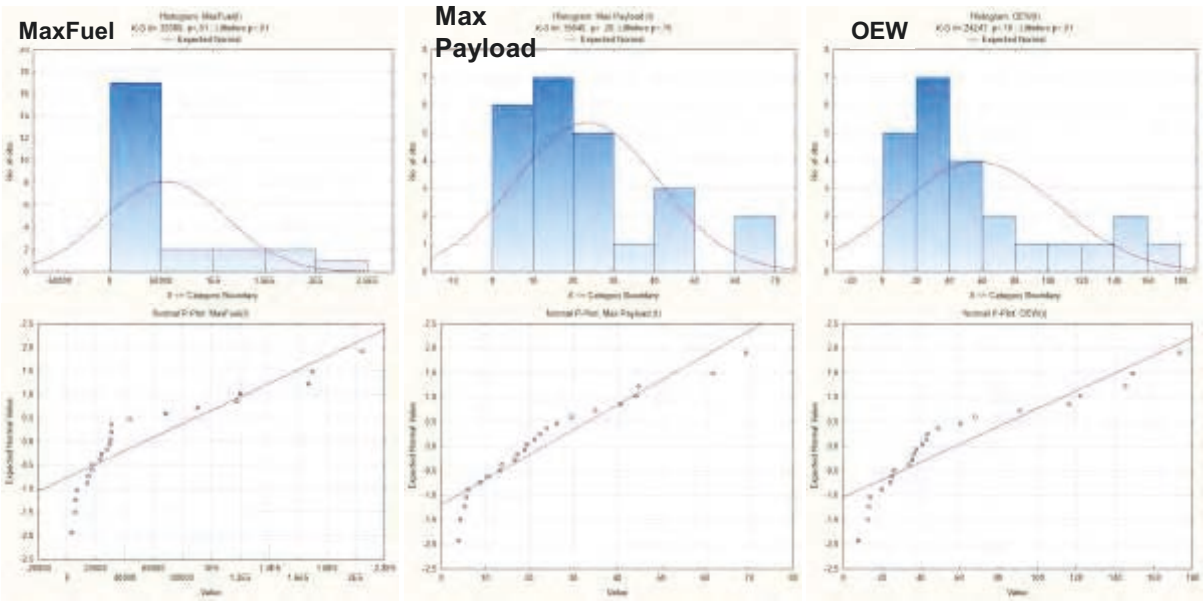


Gráfico 4.2-1. Histogramas y Normal-P Plot para las variables.
Fuente: Statistica 10 para esta tesis doctoral.

Si se constata la **normalidad univariante**, se **puede suponer** la **normalidad multivariante**, ya que esta normalidad multivariante implica que las variables individuales son normales en un sentido univariante y por ello sus combinaciones también lo serán.

La **forma más simple de diagnosticar la normalidad es una comparación visual del histograma** que compare los valores de los datos de la muestra con una distribución aproximada de la distribución normal (véanse Gráficos 4.2-1). Es muy atractivo por simple, pero en muestras pequeñas puede haber distorsiones en función de la anchura de las clases o el número de las mismas. Por ello se han representado los ***gráficos de distribución normal o Normal-P Plot***, que va a comparar la distribución acumulada de valores reales de los datos con la distribución acumulada de una distribución normal. La distribución normal sigue la una línea recta en diagonal, y los valores se posicionan alrededor de esta recta, de forma que si la distribución univariante se comporta como una normal la línea que representa la distribución real de los datos debe estar cerca de la diagonal.

Es evidente que aunque existen indicaciones de cómo deben ser los gráficos de probabilidad normal y qué tipo de distribución univariante lo representaría, es de mayor ayuda utilizar los ***test estadísticos de normalidad***. El test más simple es una regla basada en el valor de la simetría $z_{simetría}$ que también puede ser calculado el valor de kurtosis[14] $z_{kurtosis}$:

[14] *Se ha decidido utilizar el término kurtosis con k como Daniel Peña en su libro de análisis multivariante [5], aunque existen autores como Hair [1], que en la traducción al castellano la escribe con —ć (curtosis).*

$$z_{simetría} = \frac{A_j}{\sqrt{6/N}} \qquad z_{kurtosis} = \frac{K'_j}{\sqrt{24/N}}$$

De forma que si el valor excede de ±1,96, para un nivel de error de 0,05 se puede rechazar el supuesto de normalidad (descontando la normalidad del coeficiente de kurtosis como $K'_j = K_j - 3$). Asimismo se pueden encontrar test estadísticos en las herramientas estadísticas que se vienen utilizando en esta tesis (SPSS y Statistica-10), donde los más comunes para muestras de pequeño tamaño son el ***test de Shapiro-Wilks*** y el ***contraste de Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors.*** Cada uno calcula el nivel de significación de las diferencias respecto a una distribución normal. Recordando que los test son menos útiles si las muestras son pequeñas (menores de 30). No obstante se han calculado sus valores con SPSS y se adjuntan en la tabla 4.2-2. No se propone el ***contraste de la ϕ^5 de Pearson*** porque la muestra debe ser mayor de 25 y las observaciones se deben poder agrupar en 5 clases con al menos 5 datos por clase.

Tabla 4.2-2.- Contrastes de normalidad
Fuente: SPSS para esta tesis doctoral.

Variables	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk			$z_{simetría}$	$z_{kurtosis}$
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	$A_j/\sqrt{(6/N)}$	$K'_j/\sqrt{(24/N)}$
Lt(m)	0,151	24	0,163	0,945	24	0,207	0,928	-0,801
Ht(m)	0,180	24	0,044	0,914	24	0,044	1,086	-0,905
A(m)	0,242	24	0,001	0,865	24	0,004	1,544	-0,654
L(m)	0,144	24	,200*	0,934	24	0,121	1,114	-0,717
Ev(m)	0,254	24	0,000	0,816	24	0,001	2,310	0,097
SpAl(m2)	0,282	24	0,000	0,804	24	0,000	2,682	0,818
Wb(m)	0,128	24	,200*	0,942	24	0,181	0,708	-1,041
Wt(m)	0,218	24	0,005	0,919	24	0,057	0,472	-1,028
PM(kN)	0,182	24	0,038	0,850	24	0,002	2,508	1,401
Pax.tipo	0,144	24	,200*	0,904	24	0,027	1,862	0,205
Pax.max	0,184	24	0,035	0,882	24	0,009	1,736	-0,425
Crew	0,271	24	0,000	0,797	24	0,000	1,262	-1,166
Rg(km)	0,141	24	,200*	0,908	24	0,031	1,718	0,036
Mmo	0,331	24	0,000	0,800	24	0,000	-1,410	-1,238
Vmáx	0,315	24	0,000	0,825	24	0,001	-1,396	-1,176
Vcru	0,316	24	0,000	0,810	24	0,000	-1,294	-1,346
Techo	0,176	24	0,054	0,891	24	0,014	-0,688	-1,454
MTOW(t)	0,248	24	0,001	0,819	24	0,001	2,610	0,659
MLW(t)	0,234	24	0,001	0,842	24	0,002	2,474	0,559
MaxFuel(l)	0,321	24	0,000	0,766	24	0,000	2,896	0,956
Max Payload(t)	0,156	24	0,133	0,887	24	0,012	2,296	0,839
OEW(t)	0,242	24	0,001	0,831	24	0,001	2,396	0,269

**. Este es un límite inferior de la significación verdadera.*

a. Corrección de la significación de Lilliefors

El contraste de *Kolmogorov-Smirnov* se aplica para contrastar la hipótesis de normalidad de una población si la variable es continua, el estadístico de prueba es la máxima diferencia:

$$D = máx\ |F_n(x) - F_0(n)|$$

siendo $F_n(x)$ la función de distribución muestral y $F_o(x)$ la función teórica o correspondiente a la población normal especificada en la hipótesis nula. La distribución del estadístico de *Kolmogorov-Smirnov* es independiente de la distribución poblacional especificada en la hipótesis nula y los valores críticos de este estadístico están tabulados. Si la distribución postulada es la normal y se estiman sus parámetros, los valores críticos se obtienen aplicando la corrección de significación propuesta por *Lilliefors*.

El test de *Shapiro-Wilk*, vale exclusivamente cuando la muestra tiene un tamaño máximo de 50 y como el anterior se utiliza para contrastar la normalidad. Para efectuarla se calcula la media y la varianza muestral, S_2, y se ordenan las observaciones de menor a mayor. A continuación se calculan las diferencias entre: el primero y el último; el segundo y el penúltimo; el tercero y el antepenúltimo, etc. y se corrigen con unos coeficientes tabulados por *Shapiro y Wilk*. El estadístico de prueba es:

$$W = \frac{D^2}{n \cdot S^2}$$

donde D es la suma de las diferencias corregidas.
Se rechazará la hipótesis nula de normalidad si el estadístico W es menor que el valor crítico proporcionado por la tabla elaborada por los autores para el tamaño muestral y el nivel de significación dado.

En el **caso de las variables de este estudio**, según los contrastes, **sólo en 4 de ellas se puede considerar que sus datos se distribuyen de manera normal: Lt, L, Wb y Wt**, ya que son las únicas que los valores de significación del test de *Shapiro-Wilk* están por encima de 0,05. Alguna más podría aproximarse con los test estadísticos de simetría y kurtosis, según la tabla 4.2-2, en la que se han marcado en rojo las que el valor excede de ±1,96, que para un nivel de error de 0,05, recomienda rechazar la hipótesis de normalidad.

¿Qué significa esto?, **¿hay soluciones para la no normalidad?**. Existen algunas transformaciones de datos para acomodar las distribuciones no normales, además cuando se examinen métodos multivariantes como la regresión múltiple se volverá a discutir la normalidad, teniendo en cuenta que en muchos casos la no normalidad se debe a alguna violación, intencionada o no, en la selección de la muestra. No obstante, no es un problema

grave, ya que como se decía al principio del capítulo, el objetivo de esta tesis es encontrar correlaciones que permitan modelar relaciones entre estas variables y unos indicadores de rendimiento, de manera que la distribución de las variables caracterizadoras no es un concepto crítico.

4.2.2. Medidas de centralización

En este apartado se pretenden presentar los estadísticos ya calculados en el estudio univariante, en formato vectorial multivariante, ya que para los cálculos conducentes al modelo, se van a utilizar de esta manera. La medida de centralización utilizada va a ser el vector de medias, que es un vector de dimensión p=24, cuyas componentes son las medias de cada una de las p variables. Junto al vector de medias, en la tabla 4.2-3, se detallan el resto de estadísticos importantes habiéndose calculado todos estos datos que aparecen a continuación con la ayuda del programa SPSS.

Tabla 4.2-3.- Estadísticos descriptivos

Fuente: SPSS para esta tesis doctoral.

				$\bar{x}$	s	s^2				
	N	Mín	Máx	Media	Desv. típica	Varianza	Asimetría	Error típico	Kurtosis	Error típico
Lt(m)	24	19,7	70,5	41,8	15,0	226,0	0,464	0,472	-0,801	0,918
Ht(m)	24	5,2	19,3	11,6	4,1	16,8	0,543	0,472	-0,905	0,918
A(m)	24	2,4	6,5	3,9	1,3	1,7	0,772	0,472	-0,654	0,918
L(m)	24	19,7	68,6	40,8	14,6	214,4	0,557	0,472	-0,717	0,918
Ev(m)	24	28,0	62,3	39,7	11,2	126,0	1,155	0,472	0,097	0,918
SpAl(m2)	24	75,9	535,3	195,3	128,1	16400,5	1,341	0,472	0,818	0,918
Wb(m)	24	6,8	27,9	16,0	6,5	42,5	0,354	0,472	-1,041	0,918
Wt(m)	24	5,0	11,7	8,1	2,0	4,2	0,236	0,472	-1,028	0,918
TipoM	24	1,0	2,0	1,38	0,48	0,23	0,516	0,472	-1,939	0,918
NºM	24	2,0	4,0	2,75	0,92	0,85	0,515	0,472	-0,208	0,918
PM(kN)	24	7,7	440,8	112,0	115,1	1,3E+04	1,254	0,472	1,401	0,918
Pax.tipo	24	20,0	442,1	153,2	117,0	1,4E+04	0,931	0,472	0,205	0,918
Pax.max	24	32,0	531,8	202,7	152,7	2,3E+04	0,868	0,472	-0,425	0,918
Crew	24	2,0	5,0	3,0	1,2	1,4	0,631	0,472	-1,166	0,918
Rg(km)	24	2782,9	14283,3	7001,0	3378,0	1,1E+07	0,859	0,472	0,036	0,918
Mmo	24	0,3	0,9	0,7	0,2	0,04	-0,705	0,472	-1,238	0,918
Vmáx	24	360,0	982,0	769,2	205,7	4,2E+04	-0,698	0,472	-1,176	0,918
Vcru	24	310,0	914,5	706,4	209,5	4,4E+04	-0,647	0,472	-1,346	0,918
Techo	24	6800,0	13715,0	10384,2	2235,8	5,0E+06	-0,344	0,472	-1,454	0,918
MTOW(t)	24	11,8	374,5	113,7	103,9	1,1E+04	1,305	0,472	0,659	0,918
MLW(t)	24	11,1	278,2	88,8	74,4	5,5E+03	1,237	0,472	0,559	0,918
MaxFuel(l)	24	3045,0	2,0E+05	53573,7	58821,6	3,5E+09	1,448	0,472	0,956	0,918
Max Payload (t)	24	4,0	69,1	23,4	17,8	318,6	1,148	0,472	0,839	0,918
OEW(t)	24	7,5	173,3	57,7	48,5	2347,8	1,198	0,472	0,269	0,918

El objetivo es cumplir con un requisito estadístico que en la metodología está muy recomendado que es el de conocer como está distribuida la muestra, sobre todo para calcular la matriz de varianzas y covarianzas, previo al gran objetivo multivariante de verificar las correlaciones.

Como se ha comentado, para las variables escalares, la variabilidad respecto a la media se mide usualmente con la varianza, o su raíz cuadrada, la desviación típica. La relación lineal entre dos variables se mide por la covarianza, que se calcula con la expresión: [5]

$$s_{jk} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)$$

y mide su dependencia lineal. Para el caso de variables multivariantes se define como:

$$S = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(X_i - \bar{X})'$$

que es una matriz cuadrada y simétrica que contiene en la diagonal varianzas y fuera de la diagonal las covarianzas entre las variables. Se ha calculado con SPSS-20 y se ha obtenido la matriz de varianzas y covarianzas para variables escalares de la tabla 4.2-4.

El análisis de la matriz de covarianzas, al tener las variables dimensiones muy diferentes, no suministra demasiada información, por ello en ocasiones se trabaja con los logaritmos, que suelen dar unos resultados más fáciles de interpretar, o como se va a hacer en el capítulo de homocedasticidad, eliminando la influencia dimensional, dividiendo varianzas y covarianzas por la varianza de la variable independiente, de forma que cuanto más cerca de uno más parecidas las varianzas de las variables independiente y dependiente a comparar. No obstante como el verdadero objetivo es ver las correlaciones, una vez obtenida esta matriz y valorada la *homocedasticidad* entre las variables, es preferible ir a la matriz de correlaciones, que se estudia en el siguiente apartado, para ver realmente la relación entre las variables.

La **homocedasticidad** es un supuesto relativo principalmente a las interdependencias de las variables. En concreto al supuesto de que las variables dependientes deben exhibir iguales varianzas a lo largo del rango del predictor de la variable. Según Hair [1], La homocedasticidad es deseable porque la varianza de la variable dependiente que se está explicando en la relación de dependencia no debería concentrarse sólo en un rango limitado de los valores de la variable independiente. Este concepto de dispersión de la varianza está pensado para variables métricas.

Los análisis preliminares de homocedasticidad y heterocedasticidad, se han hecho por parejas de variables, se han creado los gráficos de dispersión que relacionan las variables dos a dos con la herramienta Statistica-10 (24x24 = 576 gráficos, ver la Imagen[15] 4.2-1), y se han utilizado para corroborar los resultados obtenidos del análisis de la matriz de covarianzas, una vez eliminados los efectos de las diferentes dimensiones y unidades a comparar. De manera que se evidencie claramente qué variables tienen una relación homocedástica y cuáles heterocedástica. (Tabla 4.2-5 y Gráficos 4.2-2a,b).

Al estar midiendo la homocedasticidad, lo que se está comparando realmente es la similitud entre las dispersiones, desviaciones o varianzas entre dos variables. Si se tiene en cuenta que en la matriz de covarianzas, la diagonal está formada por las varianzas de cada una de las variables, si se dividen las covarianzas de una fila entre la varianza de esa fila, se están comparando la dispersión de la variable independiente o de referencia con las dispersiones o covarianzas de la variable de referencia en combinación con el resto de variables de la fila, de tal manera, que si el valor de este cociente es 1, significaría que las dispersiones son idénticas y con ello las varianzas, de la misma manera que si los valores son próximos a 1 las desviaciones serían razonablemente parecidas, por ello, el que exista esa proximidad o no a 1, estaría suministrando una valoración del grado de homocedasticidad entre las dos variables comparadas. Estos valores se miden en valor absoluto, porque aunque la varianza siempre es positiva, la covarianza puede no serlo y hacer que el cociente salga negativo.

[15] *Se adjunta la imagen para evidenciar el volumen de gráficos de correlación a contrastar, nunca con la intención de poder identificar ni trabajar con ella para ver los gráficos, lo que si es necesario se hará en un formato útil.*

	Ltm	Htm	Am	Lm	Evm	SpAlm2	Wbm	Wtm	PMkN	Pax.tipo	Pax.max	Crew	Rgkm	Mmo	Vmáx	Vcru	Techo	MTOWt	MLWt	MaxFuell	Max Payload(t)	OEWt
Ltm	225,96																					
Htm	56,64	16,79																				
Am	17,81	5,15	1,68																			
Lm	219,06	55,73	17,38	214,43																		
Evm	150,54	39,66	12,57	150,34	126,02																	
SpAlm2	1745,67	466,39	149,23	1715,68	1388,73	1,64E+04																
Wbm	93,72	21,68	6,97	89,54	59,73	694,32	42,48															
Wtm	16,44	4,94	1,54	17,37	17,45	184,19	5,28	4,18														
PMkN	1492,05	427,46	135,06	1471,21	1039,53	11773,27	609,75	122,38	1,32E+04													
Pax.tipo	1683,29	453,79	143,61	1645,04	1146,52	13586,44	683,80	134,91	12275,39	1,37E+04												
Pax.max	2226,21	605,49	192,40	2179,48	1567,94	18309,39	899,36	190,09	16017,30	17644,07	2,33E+04											
Crew	-8,23	-2,11	-0,66	-7,99	-2,92	-30,35	-3,88	0,51	-73,74	-71,53	-82,10	1,37										
Rgkm	4,10E+04	1,06E+04	3,34E+03	4,16E+04	3,60E+04	3,81E+05	1,59E+04	5,61E+03	2,80E+05	3,08E+05	4,25E+05	-6,57E+02	1,14E+07									
Mmo	2,41	0,61	0,18	2,25	1,11	13,89	1,04	0,04	16,10	17,66	22,37	-0,16	285,35	0,04								
Vmáx	2492,45	630,61	190,96	2323,69	1156,70	14580,02	1070,41	51,36	16509,49	18167,61	23113,77	-155,76	2,97E+05	41,07	4,23E+04							
Vcru	2580,86	663,17	200,87	2421,28	1235,77	15311,25	1096,27	63,09	17424,33	18969,06	24249,16	-162,88	3,21E+05	41,67	4,28E+04	4,39E+04						
Techo	26831,12	7443,57	2230,03	25598,74	13986,58	173219,97	11277,16	800,49	2,02E+05	2,17E+05	2,71E+05	-1918,24	3,67E+06	415,62	4,25E+05	4,36E+05	5,00E+06					
MTOWt	1479,41	396,02	125,91	1452,25	1112,95	13033,35	596,67	140,51	10118,72	11661,64	15502,12	42,71	3,07E+05	13,39	1,39E+04	14561,34	1,66E+05	1,08E+04				
MLWt	1065,60	287,01	91,38	1044,62	791,40	9308,94	427,84	100,42	7413,27	8442,30	11182,79	-31,70	2,17E+05	9,89	1,03E+04	10732,84	1,22E+05	7707,67	5,53E+03			
MaxFuell	8,14E+05	2,16E+05	68593,16	8,00E+05	6,34E+05	7,42E+06	3,30E+05	80457,18	5,47E+06	6,39E+06	8,52E+06	-2,02E+04	1,75E+08	6,94E+03	7,22E+06	7,58E+06	8,76E+07	6,07E+06	4,31E+06	3,46E+09		
MaxPayloadt	246,27	63,87	20,30	240,92	182,97	2168,74	100,39	25,52	1737,96	1955,67	2548,89	-5,70	5,16E+04	2,25	2349,98	2435,21	27175,72	1768,37	1275,53	9,89E+05	318,59	
OEWt	692,49	187,33	59,56	680,31	520,26	6061,26	278,08	67,59	4854,53	5470,29	7286,36	-20,00	1,44E+05	6,33	6572,60	6895,20	78474,91	5021,08	3598,03	2,81E+06	828,14	2347,83

Tabla 4.2-4.- Matriz de varianzas y covarianzas
Fuente: SPSS para esta tesis doctoral.

	Ltm	Htm	Am	Lm	Evm	SpAlm2	Wbm	Wtm	PMkN	Pax.tipo	Pax.max	Crew	Rgkm	Mmo	Vmáx	Vcru	Techo	MTOWt	MLWt	MaxFuell	Max Payload(t)	OEWt
Ltm	1,00																					
Htm	3,37	1,00																				
Am	10,59	3,06	1,00																			
Lm	1,02	0,26	0,08	1,00																		
Evm	1,19	0,31	0,10	1,19	1,00																	
SpAlm2	0,106	0,028	0,009	0,105	0,085	1,00																
Wbm	2,21	0,51	0,16	2,11	1,41	16,35	1,00															
Wtm	3,93	1,18	0,37	4,16	4,18	44,07	1,26	1,00														
PMkN	0,113	0,032	0,010	0,111	0,079	0,889	0,046	0,009	1,00													
Pax.tipo	0,123	0,033	0,010	0,120	0,084	0,993	0,050	0,010	0,897	1,00												
Pax.max	0,095	0,026	0,008	0,093	0,067	0,775	0,039	0,008	0,681	0,751	1,00											
Crew	-5,99	-1,53	-0,48	-5,82	-2,13	-22,11	-2,83	0,368	-53,70	-52,10	-59,79	1,00										
Rgkm	0,004	9,29E-04	2,93E-04	0,004	0,003	0,033	1,39E-03	4,91E-04	0,025	0,027	0,037	-5,76E-05	1,00									
Mmo	60,30	15,20	4,62	56,28	27,78	347,27	25,93	1,08	402,59	441,19	559,26	-3,08	7133,40	1,00								
Vmáx	0,059	0,015	0,005	0,055	0,027	0,345	0,025	0,001	0,390	0,430	0,547	-0,004	7,022	0,001	1,00							
Vcru	0,059	0,015	0,005	0,055	0,028	0,349	0,025	0,001	0,397	0,432	0,553	-0,004	7,318	0,001	0,977	1,00						
Techo	0,005	0,001	0,000	0,005	0,003	0,035	0,002	0,000	0,040	0,043	0,054	0,000	0,733	0,000	0,085	0,087	1,00					
MTOWt	0,137	0,037	0,012	0,135	0,103	1,207	0,055	0,013	0,937	1,080	1,436	-0,004	28,395	0,001	1,287	1,349	15,411	1,00				
MLWt	0,193	0,052	0,017	0,189	0,143	1,683	0,077	0,018	1,340	1,526	2,022	-0,006	39,187	0,002	1,855	1,941	22,080	1,394	1,00			
MaxFuell	2,35E-04	6,25E-05	1,98E-05	2,31E-04	1,83E-04	2,14E-03	9,53E-05	2,33E-05	1,58E-03	1,85E-03	2,46E-03	-5,83E-06	5,06E-02	2,00E-06	2,09E-03	2,19E-03	2,53E-02	1,75E-03	1,24E-03	1,00		
MaxPayloadt	0,773	0,200	0,064	0,756	0,574	6,807	0,315	0,080	5,455	6,138	8,000	-0,018	162,058	0,007	7,376	7,644	85,299	5,551	4,004	3105,443	1,00	
OEWt	0,295	0,080	0,025	0,290	0,222	2,582	0,118	0,029	2,068	2,330	3,103	-0,009	61,243	0,003	2,799	2,937	33,424	2,139	1,532	1195,743	0,351	1,00

heterocedasticidad		homocedasticidad	homocedasticidad fuerte	homocedasticidad		heterocedasticidad
menores de 0,3	0,3→	0,5→	0,85→ 1	←1,15	←1,5	←1,7 *mayores de 1,7*

Tabla 4.2-5.- Matriz de varianzas y covarianzas relativizadas.
Fuente: SPSS para esta tesis doctoral.

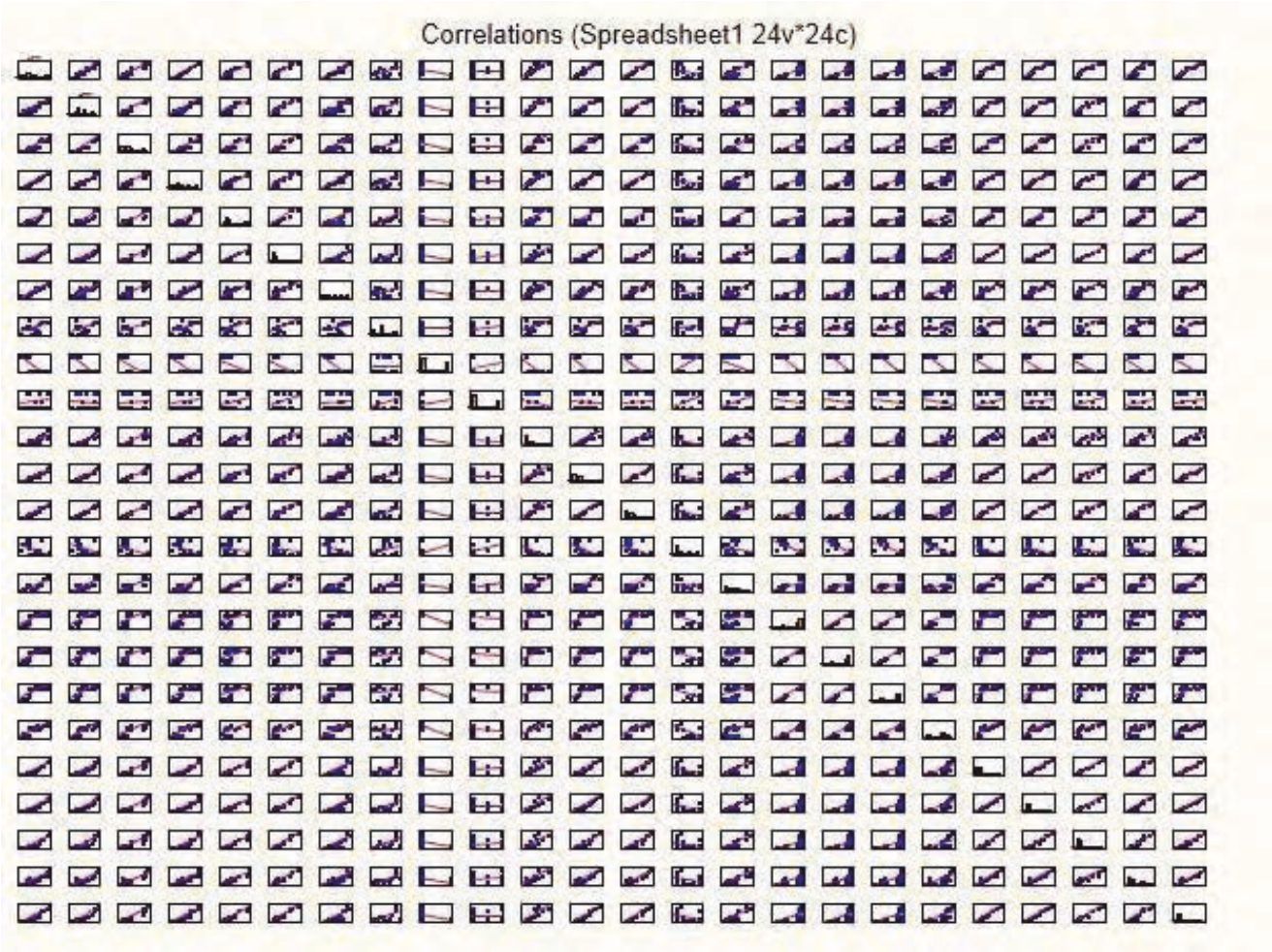


Imagen 4.2-1.- Hoja de gráficos de correlación de 24 casos x 24 variables
Fuente: Statistica-10 para esta tesis doctoral.

Los criterios adoptados (en valor absoluto) para valorar la homocedasticidad son:

- ≠ 0,85 ≤ $S^2_{ij\ (i\neq j)}$ / $S^2_{ij\ (i=j)}$ ≤ 1,15 ➔ homocedasticidad fuerte.
- ≠ 0,5 ≤ $S^2_{ij\ (i\neq j)}$ / $S^2_{ij\ (i=j)}$ < 0,85 **U** 1,15 < $S^2_{ij\ (i\neq j)}$ / $S^2_{ij\ (i=j)}$ ≤ 1,5 ➔ homocedasticidad.
- ≠ 0,3 ≤ $S^2_{ij\ (i\neq j)}$ / $S^2_{ij\ (i=j)}$ < 0,5 **U** 1,5 < $S^2_{ij\ (i\neq j)}$ / $S^2_{ij\ (i=j)}$ ≤ 1,7 ➔ homocedasticidad débil.
- ≠ 0,3 > $S^2_{ij\ (i\neq j)}$ / $S^2_{ij\ (i=j)}$ **U** $S^2_{ij\ (i\neq j)}$ / $S^2_{ij\ (i=j)}$ > 1,7 ➔ heterocedasticidad.

En resumen, para la mayoría de las 576 parejas estudiadas, el comportamiento tiende a la heterocedasticidad, sólo 44 parejas de variables (7,6%), presentan homocedasticidad clara, aunque alguna más está suficientemente próxima, y con un criterio menos riguroso y de manera aproximada podría incluirse. Para corroborar lo anterior, se analizan gráficos representativos de homocedasticidad y heterocedasticidad:

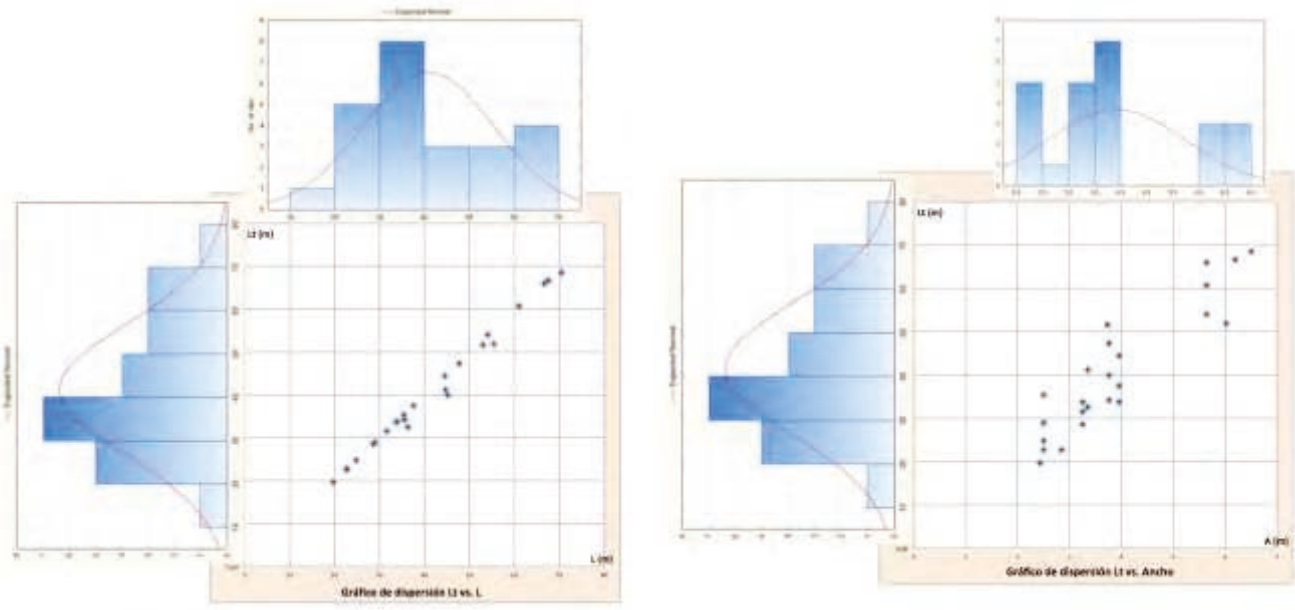


Gráfico 4.2-2a. Homocedasticidad: $\frac{S^2_{ij\ (i\neq j)}}{S^2_{ij\ (i=j)}} = 1{,}02$ - **Gráfico 4.2-2b. Heterocedasticidad:** $\frac{S^2_{ij\ (i\neq j)}}{S^2_{ij\ (i=j)}} = 10{,}59$
Fuente: Statistica-10 para esta tesis doctoral.[1]

Decir que este resultado dificulta las potenciales correlaciones, y con ello la posibilidad de eliminar variables para el cálculo final, no obstante se medirá la correlación dos a dos y se descartará aquella que no sea aceptable, aunque eso implique una menor simplificación y trabajar con más variables caracterizadoras.

4.2.3. Análisis Factorial. Medida de correlación.

El objetivo inicial del capítulo 4 era doble, por un lado se pretende demostrar la coherencia y robustez de las variables elegidas y por otro, y tras demostrar la primera parte, intentar reducir el número de las mismas, aprovechando sus dependencias.

En este apartado, se estudiará si a través de la **correlación** entre algunas de las 24 variables (parámetros caracterizadores) o del **análisis factorial** y el **análisis de componentes principales** podría reducirse su número al ser fácilmente calculables a partir de las otras con un error despreciable y conocido, o lo que es igual, con una precisión definida. Si esto fuera así, el posterior estudio que intentará ver las correlaciones entre estas variables o parámetros de las aeronaves y los indicadores de rendimiento de las aerolíneas, se vería muy simplificado, tanto más cuanto menos sean los parámetros caracterizadores (variables) necesarias.

Calculando la matriz de correlaciones para las 24 aeronaves y las 24 variables, se obtuvo la tabla 4.2-6:

	Lt(m)	Ht(m)	A(m)	L(m)	Ev(m)	SpAl (m2)	Wb (m)	Wt (m)	TipoM	N°M	PM (kN)	Pax. tipo	Pax. max	Crew	Rg (km)	Mmo	Vmáx	Vcru	Techo	MTOW (t)	MLW (t)	Max Fuel (t)	Max Payload (t)	OEW (t)
Lt(m)	1,000	0,920	0,914	0,995	0,892	0,907	0,957	0,535	-0,745	0,142	0,863	0,957	0,970	-0,467	0,807	0,802	0,806	0,820	0,798	0,947	0,953	0,921	0,918	0,951
Ht(m)	0,920	1,000	0,970	0,929	0,862	0,889	0,812	0,589	-0,714	-0,013	0,907	0,947	0,968	-0,439	0,766	0,742	0,748	0,773	0,813	0,930	0,942	0,898	0,873	0,944
A(m)	0,914	0,970	1,000	0,915	0,884	0,899	0,824	0,561	-0,699	0,013	0,905	0,947	0,972	-0,432	0,764	0,712	0,716	0,740	0,789	0,935	0,948	0,899	0,877	0,948
L(m)	0,995	0,929	0,915	1,000	0,915	0,915	0,938	0,580	-0,714	0,147	0,873	0,950	0,974	-0,466	0,841	0,769	0,772	0,789	0,792	0,954	0,959	0,929	0,922	0,959
Ev(m)	0,892	0,862	0,884	0,915	1,000	0,966	0,818	0,760	-0,432	0,298	0,805	0,873	0,914	-0,222	0,948	0,485	0,501	0,528	0,557	0,894	0,949	0,960	0,913	0,956
SpAl (m2)	0,907	0,889	0,899	0,915	0,966	1,000	0,832	0,794	-0,461	0,300	0,798	0,907	0,936	-0,202	0,881	0,542	0,554	0,571	0,605	0,979	0,977	0,984	0,949	0,977
Wb (m)	0,957	0,812	0,824	0,938	0,818	0,832	1,000	0,396	-0,755	0,069	0,813	0,897	0,903	-0,508	0,721	0,796	0,799	0,803	0,774	0,891	0,893	0,880	0,893	0,881
Wt (m)	0,535	0,589	0,561	0,580	0,760	0,794	0,396	1,000	0,004	0,352	0,520	0,564	0,609	0,211	0,812	0,105	0,122	0,147	0,175	0,881	0,861	0,869	0,899	0,882
TipoM	-0,745	-0,714	-0,699	-0,714	-0,432	-0,461	-0,755	0,004	1,000	0,300	-0,703	-0,731	-0,705	0,759	-0,342	-0,962	-0,955	-0,963	-0,953	-0,595	-0,618	-0,534	-0,584	-0,605
N°M	0,142	-0,013	0,013	0,147	0,298	0,300	0,069	0,352	0,303	1,000	-0,242	-0,009	0,056	0,520	0,387	-0,168	-0,148	-0,157	-0,285	0,194	0,163	0,246	0,187	0,163
PM (kN)	0,863	0,907	0,905	0,873	0,805	0,798	0,813	0,520	-0,703	-0,242	1,000	0,912	0,911	-0,547	0,721	0,700	0,698	0,723	0,786	0,846	0,866	0,809	0,848	0,871
Pax. tipo	0,957	0,947	0,947	0,960	0,873	0,907	0,897	0,564	-0,731	-0,009	0,912	1,000	0,987	-0,522	0,779	0,755	0,755	0,774	0,830	0,959	0,970	0,928	0,936	0,965
Pax. max	0,970	0,968	0,972	0,974	0,914	0,936	0,903	0,609	-0,705	0,056	0,911	0,987	1,000	-0,459	0,823	0,732	0,736	0,758	0,793	0,977	0,986	0,949	0,935	0,985
Crew	-0,467	-0,439	-0,432	-0,466	-0,222	-0,202	-0,508	0,211	0,759	0,520	-0,547	-0,522	-0,459	1,000	-0,166	-0,679	-0,646	-0,664	-0,732	-0,351	-0,364	-0,293	-0,273	-0,352
Rg (km)	0,807	0,766	0,764	0,841	0,948	0,881	0,721	0,812	-0,342	0,387	0,721	0,779	0,823	-0,166	1,000	0,422	0,427	0,454	0,485	0,873	0,863	0,882	0,856	0,878
Mmo	0,802	0,742	0,712	0,769	0,485	0,542	0,796	0,105	-0,962	-0,168	0,700	0,755	0,732	-0,679	0,422	1,000	0,999	0,995	0,929	0,944	0,865	0,889	0,830	0,853
Vmáx	0,806	0,748	0,716	0,772	0,501	0,554	0,799	0,122	-0,955	-0,148	0,698	0,755	0,736	-0,646	0,427	0,999	1,000	0,995	0,924	0,950	0,871	0,897	0,840	0,860
Vcru	0,820	0,773	0,740	0,789	0,528	0,571	0,803	0,147	-0,963	-0,157	0,723	0,774	0,758	-0,664	0,454	0,995	0,995	1,000	0,932	0,969	0,889	0,915	0,861	0,879
Techo	0,798	0,813	0,789	0,792	0,557	0,605	0,774	0,175	-0,953	-0,285	0,786	0,830	0,793	-0,732	0,485	0,929	0,924	0,932	1,000	0,716	0,734	0,886	0,881	0,724
MTOW (t)	0,947	0,930	0,935	0,954	0,954	0,979	0,891	0,881	-0,595	0,194	0,846	0,959	0,977	-0,351	0,873	0,944	0,950	0,969	0,716	1,000	0,997	0,993	0,953	0,997
MLW (t)	0,953	0,942	0,948	0,959	0,949	0,977	0,893	0,861	-0,618	0,163	0,866	0,970	0,986	-0,364	0,863	0,865	0,871	0,889	0,734	0,997	1,000	0,984	0,961	0,996
MaxFuel (t)	0,921	0,898	0,899	0,929	0,960	0,984	0,880	0,869	-0,534	0,246	0,809	0,928	0,949	-0,293	0,882	0,889	0,897	0,915	0,886	0,993	0,984	1,000	0,942	0,985
Max Payload (t)	0,918	0,873	0,877	0,922	0,913	0,949	0,893	0,899	-0,584	0,187	0,848	0,936	0,935	-0,273	0,856	0,830	0,840	0,861	0,881	0,953	0,961	0,942	1,000	0,958
OEW (t)	0,951	0,944	0,948	0,959	0,956	0,977	0,881	0,882	-0,605	0,163	0,871	0,965	0,985	-0,352	0,878	0,853	0,860	0,879	0,724	0,997	0,996	0,985	0,958	1,000

Tabla 4.2-6 Matriz de correlaciones de las 24 variables para los 24 casos.
Fuente: Statistica-10 para esta tesis doctoral.

Aparecen en rojo las correlaciones superiores a 0,5 y se han marcado zonas en las que existe una fuerte correlación entre variables, una correlación superior al 90%, las cuales a priori podrían ser representadas por una de ellas al considerar que las otras son calculables a partir de la variable elegida como representante. La correlación calculada en la tabla con la herramienta Statistica-10 es de tipo lineal.

En un análisis individualizado entre las variables fuertemente correlacionadas, se pueden obtener sus gráficos de correlación, su recta de regresión y el coeficiente de correlación de Pearson R^2. De este análisis preliminar, se pueden preseleccionar 10 variables que representarán a todas, pudiendo obtenerse las otras 14 a partir de ellas si la preselección estudiada en detalle lo permite. En la tabla 4.2-7 se pueden ver las variables preseleccionadas y las que resultarían de éstas con su índice de correlación correspondiente. Y en los gráficos de regresión que figuran a continuación, se pueden ver las ecuaciones de regresión que se utilizarán para obtener las variables dependientes no seleccionadas en función de las independientes sí seleccionadas y que las representarán en el resto del estudio, corroborando la preselección o alertando de alguna correlación no recomendable.

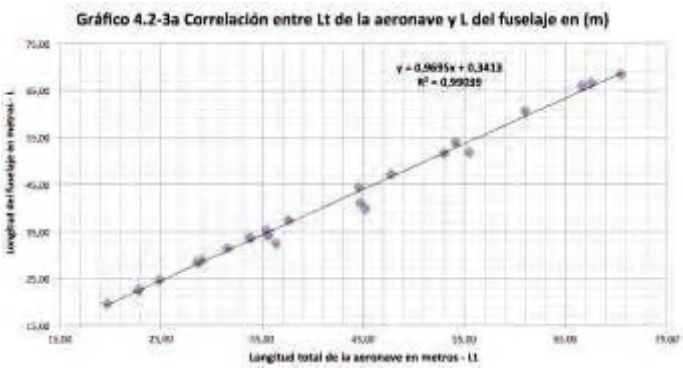
		Lt(m)	L(m)	Wb (m)	Pax. max	Pax. tipo	MLW (t)	OEW (t)	MTOW (t)	Max Fuel (l)	Max Payload (t)	Ht(m)	A(m)	SpAl (m2)	Ev(m)	Rg (km)	Wt (m)	PM (kN)	Vcru	Vmáx	Mmo	Techo	TipoM	NºM	Crew
1	Lt(m)	1,000	0,995	0,957																					
2	Pax. max				1,000	0,987																			
3	MTOW (t)						0,997	0,997	1,000	0,993	0,953														
4	A(m)											0,970	1,000												
5	SpAl (m2)													1,000	0,966										
6	Rg (km)															1,000	0,812								
7	PM (kN)																	1,000							
8	Vcru																		1,000	0,995	0,995	0,932	-0,963		
9	NºM																							1,000	
10	Crew																								1,000

Tabla 4.2-7 Matriz de variables independientes preseleccionadas (10) con sus correlaciones de variables dependientes a las que representarían.
Fuente: Statistica-10 para esta tesis doctoral.

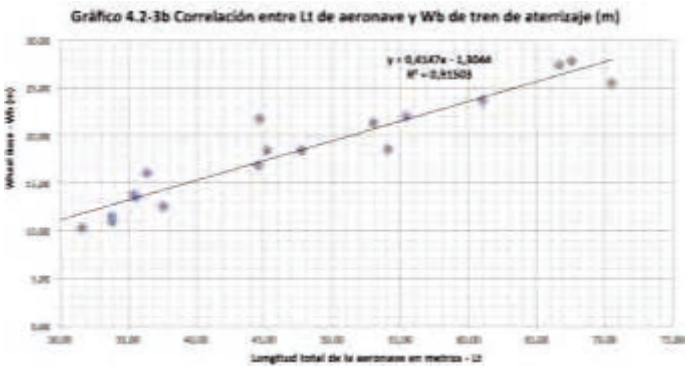
A continuación se van a representar los **gráficos de correlación y las funciones de regresión** con los ***coeficientes de correlación de Pearson R^2***, para cada pareja de variables independiente-dependiente. Estas ecuaciones de regresión van a permitir calcular las variables dependientes una vez se obtengan los valores de las variables independientes seleccionadas siempre que el coeficiente de correlación sea suficientemente cercano a 1 y al analizar el gráfico no se observen alteraciones que recomienden no utilizar esa regresión.

1 **Variable independiente - Lt (m):** Longitud total de la aeronave en metros.

≠ Variables dependientes: (Gráficos 4.2-3a y 4.2-3b para esta tesis)



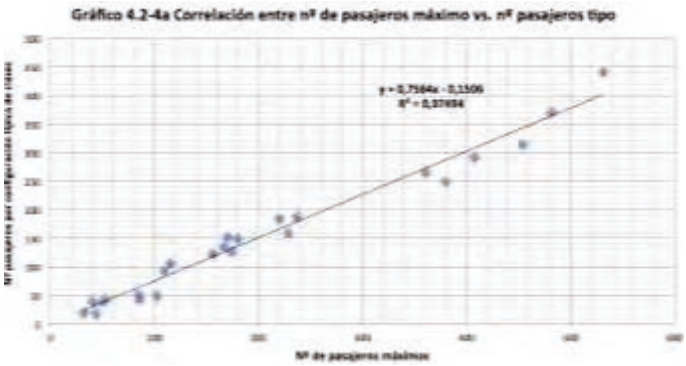
- L (m): Longitud del fuselaje.
  - y = 0,9695 x + 0,3413
  - R^2 = 0,99039



- Wb (m): Wheel Base.
  - y = 0,4147 x - 1,3044
  - R^2 = 0,91503

2 Variable independiente - PaxMax: Capacidad máxima de pasajeros del avión.

≠ Variables dependientes: (Gráficos 4.2-4a y 4.2-4b para esta tesis)



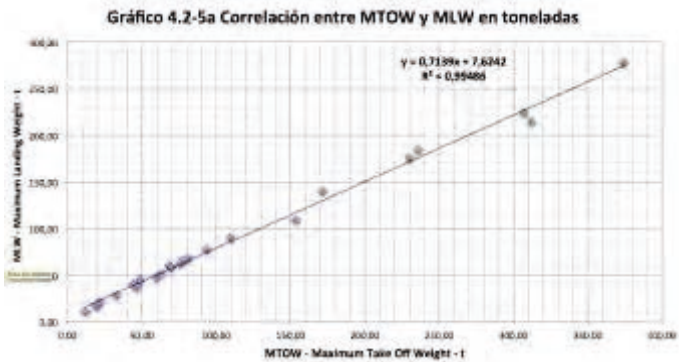
- PaxTipo: número de pasajeros en la configuración de clases típica del avión.
  - y = 0,7564 x - 0,1506
  - R^2 = 0,97494

- PM-KN: Potencia unitaria del motor.
  - y = 0,6866 x - 27,197
  - R^2 = 0,83068

Aunque R^2 = 0.8307 no es un mal valor, de hecho la correlación es 0.9114, superior al 90%, en el propio gráfico se observa el mal ajuste para valores altos. Por lo que se incluirá esta variable PM-KN, entre la seleccionadas como independientes en lugar de calcularla a partir de otra correlacionada.

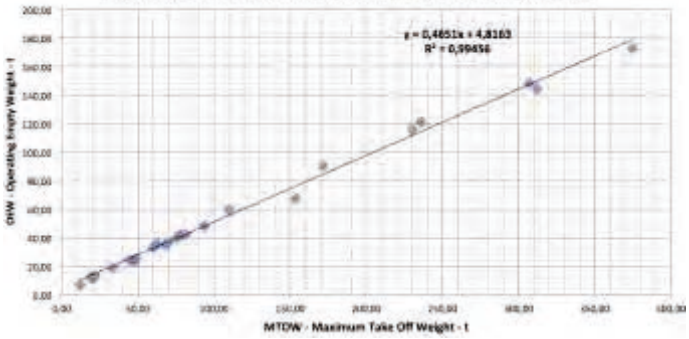
3 Variable independiente – MTOW (t): Máximo peso al despegue en toneladas.

≠ Variables dependientes: (Gráficos 4.2-5a, 4.2-5b, 4.2-5c y 4.2-5d para esta tesis)



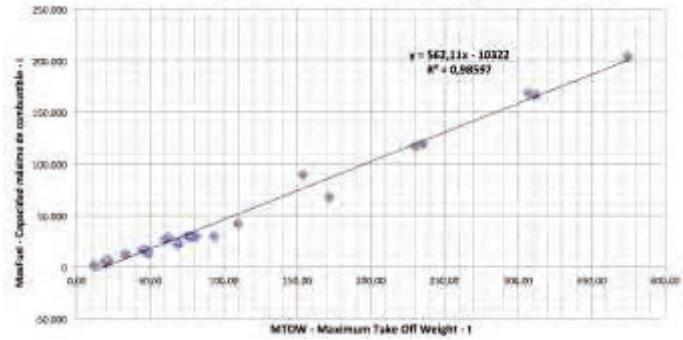
- MLW(t): máximo peso al aterrizaje en toneladas.
  - y = 0,7139 x + 7,6242
  - R^2 = 0,99486

Gráfico 4.2-5b Correlación entre MTOW y OEW en toneladas



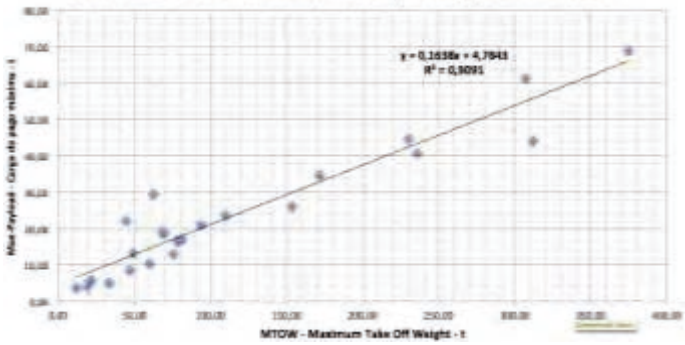
- OEW(t): peso operativo en vacío medido en toneladas.
  - y = 0,4651 x + 4,8163
  - R^2 = 0,99456

Gráfico 4.2-5c Correlación entre MTOW en toneladas y MaxFuel en litros



- MaxFuel(l): Capacidad máxima de combustible en litros.
  - y = 562,11 x - 10322
  - R^2 = 0,98597

Gráfico 4.2-5d Correlación entre MTOW y Max-Payload en toneladas



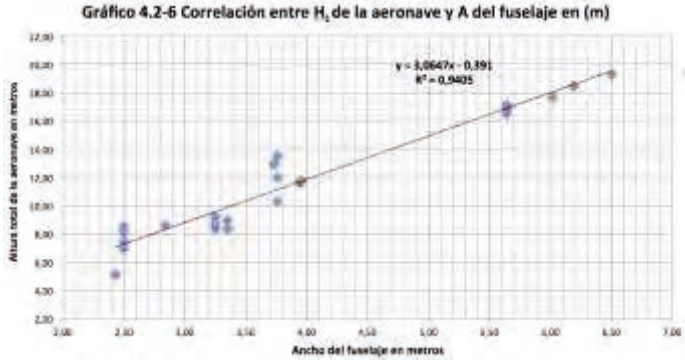
- Max-Payload(t): Carga máxima de pago en toneladas.
  - y = 0,1638 x + 4,7843
  - R^2 = 0,9091

4 Variable independiente – A (m): Ancho del fuselaje en metros.

≠ Variables dependientes: (Gráficos 4.2-6 para esta tesis)

≠

Gráfico 4.2-6 Correlación entre H_t de la aeronave y A del fuselaje en (m)

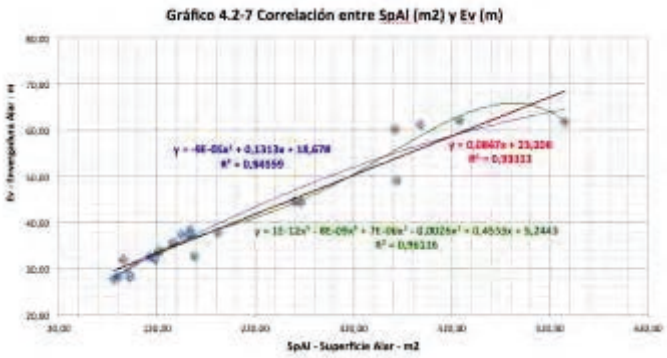


- H_t(m): altura total de la aeronave en metros.
  - y = 3,0647 x - 0,391
  - R^2 = 0,9405

El valor de R^2 = 0.9405 es un valor aceptable, se observan dos zonas en aviones de fuselaje estrecho que para igual ancho tienen diferentes alturas, pero la tendencia es claramente lineal, por lo que se obtendrá una altura suficientemente válida a partir del ancho, permitiendo un rango de alturas variable según conveniencias estructurales alrededor del valor calculado.

5 Variable independiente – SpAl (m^2): superficie alar en metros cuadrados.

≠ Variables dependientes: (Gráficos 4.2-7 para esta tesis)

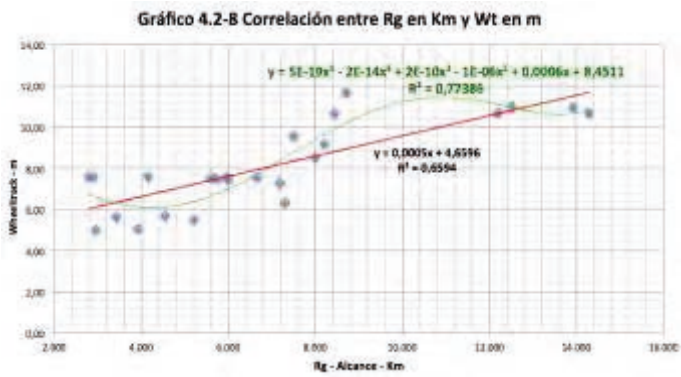


- E_v(m): envergadura alar de la aeronave en metros.
  - y = 0,0847 x + 23,206
  - R^2 = 0,93313

El valor de R^2 = 0,93313 es un valor aceptable, si se quiere mejorar hay que ir a una curva de regresión polinómica, se ha obtenido la regresión correspondiente a un polinomio de grado 5, alcanzado un R^2 = 0,96116, aunque como se puede ver tendría unos coeficientes casi despreciables en la variable de grados 5, 4 y 3. Por ello se ha calculado la regresión polinómica de grado 2, para la cual R^2 = 0,94559 mejora a la lineal, pero nuevamente con un coeficiente de grado 2 extraordinariamente bajo, es por ello, por lo que en principio se partirá de la regresión lineal, calculando en su momento la envergadura que nos proponen las otras dos ecuaciones polinómicas obtenidas para valorar el error.

6 Variable independiente – Rg (Km): alcance de la aeronave en Km.

≠ Variables dependientes: (Gráficos 4.2-8 para esta tesis)



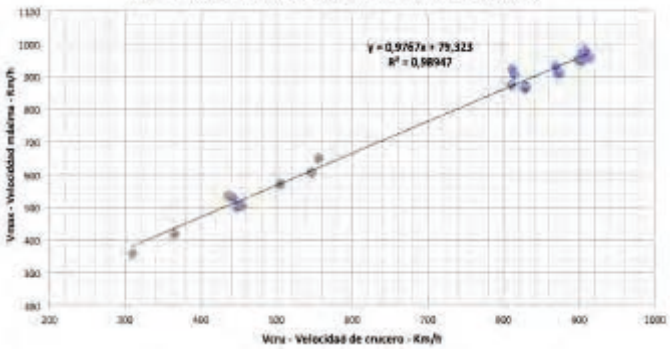
- W_t(m): vía de las ruedas que componen el tren de aterrizaje (medida en dirección transversal al avión entre las ruedas en m).
  - y = 0,0005 x + 4,6596
  - R^2 = 0,6594

El valor de R^2 = 0,6594 está muy lejos de los considerados valores aceptables, buscando mejorar se ha obtenido una curva polinómica de grado 5 que elevaría el valor de R^2 hasta 0,77386, que tampoco es adecuado. No obstante son dos parámetros absolutamente independientes en el diseño de una aeronave, por lo que la correlación ofrecida por la estadística en abstracto, no tiene ningún significado. Por todo ello se debería incluir esta variable W_t, entre la seleccionadas como independientes en lugar de calcularla a partir de otra correlacionada, pero no se va a utilizar, ya que no afecta al rendimiento de una aeronave en su fase de explotación por una aerolínea.

7 Variable independiente - V_{cru}: Velocidad de crucero del avión en Km/h.

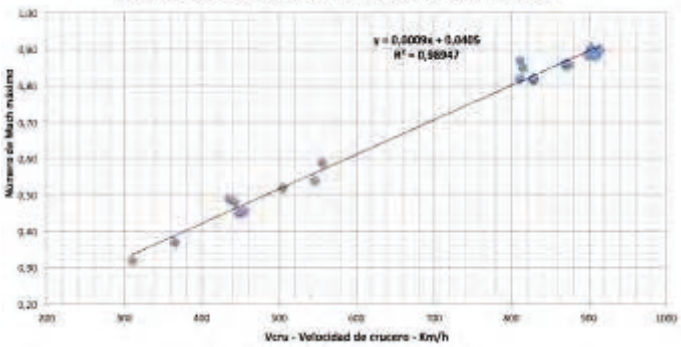
≠ Variables dependientes: (Gráficos 4.2-9a, 4.2-9b, 4.2-9c, 4.2-9d para esta tesis)

Gráfico 4.2-9a Correlación entre Vcru y Vmax en Km/h



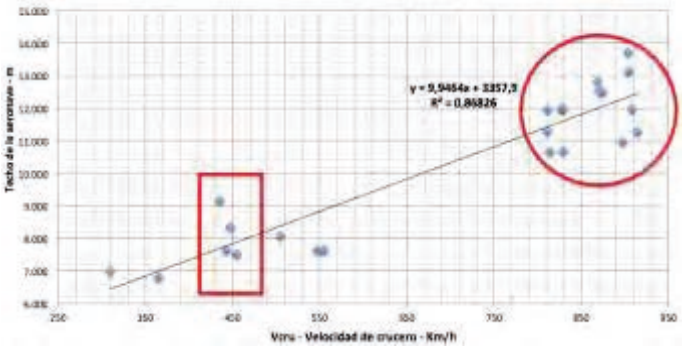
- V_{max}: velocidad máxima que puede alcanzar la aeronave en Km/h.
  - y = 0,9767 x + 79,323
  - R^2 = 0,98947

Gráfico 4.2-9b Correlación entre Vcru en Km/h y Mmo



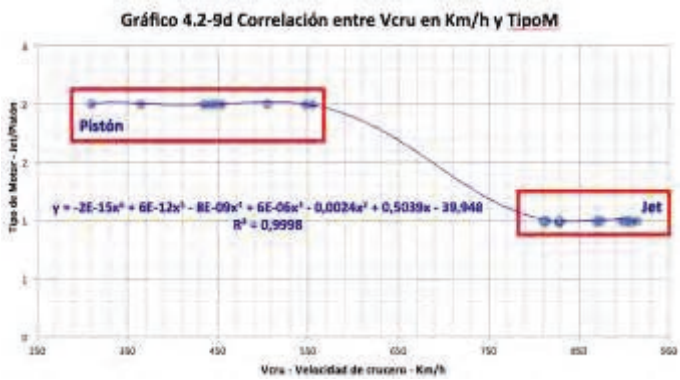
- M_{mo}: número de Mach máximo.
  - y = 0,0009 x + 0,0405
  - R^2 = 0,98947

Gráfico 4.2-9c Correlación entre Vcru en Km/h y Techo en metros



- Techo: altitud máxima que la aeronave puede alcanzar en metros.
  - y = 9,9464 x + 3357,9
  - R^2 = 0,86826

Aunque R^2 = 0.86826 no es un mal valor, de hecho la correlación es 0.9318, superior al 90%, en el propio gráfico se observan dos familias claramente diferenciadas. Las aeronaves de pistón por un lado y las aeronaves a reacción por el otro, con un valor bastante estándar dentro de un rango. Por ello, aunque la regresión no es clara, no se incluirá el techo como parámetro, ya que es perfectamente asignable una vez definido el tipo de motor, con un error que no afectará al estudio.



- TipoM: tipo de motor Jet/Pistón.
  - $y = -2E\text{-}15x^6 + 6E\text{-}12x^5 - 8E\text{-}09x^4 + 6E\text{-}06x^3 - 0{,}0024x^2 + 0{,}5039x - 39{,}948$
  - $R^2 = 0{,}9998$

Con esta aproximación polinómica de grado 6 se obtiene una línea de regresión de una enorme precisión R^2 = 0.9998, aunque en realidad lo que se reproduce como en el caso anterior, pero mucho más polarizado al tener sólo dos valores, una separación de dos familias claramente separadas. Las aeronaves de pistón por un lado y las aeronaves a reacción por el otro, con un valor fijo para cada caso, asignado a priori. Por ello, estará totalmente claro el tipo de motor en función de la velocidad de la aeronave, incluso sin necesidad de acudir a esta ecuación de regresión, simplemente por motivos técnicos.

4.3. Selección final de las variables caracterizadoras entre los parámetros estudiados en la muestra.

Tras este estudio y una vez comprobadas las correlaciones se pueden enumerar las variables caracterizadoras seleccionadas como independientes de entre los parámetros estudiados, estas variables serán elegidas como representativas de las aeronaves y serán las que se utilizarán en el resto del estudio.

Las **10 variables independientes seleccionadas** son:

1. **Lt(m):** longitud total del avión.
2. **PaxMax:** pasaje máximo.
3. **MTOW(t):** máximo peso al despegue
4. **A(m):** ancho del fuselaje.
5. **SpAl(m^2):** superficie alar.
6. **Rg(km):** alcance máximo.
7. **PM(kN):** Potencia unitaria de los motores.
8. **Vcru(Km/h):** velocidad de crucero.
9. **NºM:** nº de motores.
10. **Crew:** nº tripulantes.

Los valores de estas 10 variables independientes para las aeronaves de estudio ordenadas según los clúster obtenidos, se pueden ver a continuación en la tabla 4.3-1:

FABRICANTE	SERIE	Lt(m)	A(m)	SpAl (m2)	NºM	PM(kN)	Pax.max	Crew	Rg(km)	Vcru	MTOW(t)
CONVAIR	340/440	24,84	2,50	85,50	2	10,75	52	4	2.783	455	21,59
CONVAIR	cv 240	22,76	2,50	75,90	2	8,92	40	4	2.900	435	19,00
DOUGLAS	DC3	19,70	2,43	91,70	2	7,74	32	3	3.420	310	11,80
DOUGLAS	DC4	28,62	3,25	135,80	4	7,97	86	5	6.000	365	33,14
DOUGLAS	DC6	31,61	3,25	135,90	4	8,39	85	3	5.717	505	46,62
DOUGLAS	DC7	33,79	3,25	144,88	4	12,18	102	4	8.207	555	59,94
GLEEN L. MARTIN	martin 4-0-4	22,73	2,84	80,27	2	10,89	50	4	4.160	448	20,49
LOCKHEED	Constellation	29,00	2,50	153,50	4	8,91	44	5	8.000	443	44,50
LOCKHEED	SuperConstell.	35,42	2,50	153,70	4	12,13	109	5	8.700	547	62,37
AIRBUS	A300	54,10	5,64	260,00	2	259,50	361	2	7.500	829	171,70
AIRBUS	A330	61,02	5,64	362,00	2	303,50	408	2	12.199	871	235,69
AIRBUS	A340	66,65	5,64	388,14	4	181,93	454	2	14.283	874	311,99
BOEING	B747	70,50	6,50	535,31	4	251,79	532	3	12.509	903	374,47
BOEING	B777	67,56	6,19	427,80	2	440,76	482	2	13.912	905	306,88
MCDONNELL DOUGLAS	DC10	55,43	6,02	364,24	3	209,66	380	5	8.436	908	230,14
AIRBUS	A319	33,84	3,95	122,00	2	109,00	156	2	6.650	828	75,50
AIRBUS	A320	37,57	3,95	122,00	2	115,65	180	2	5.950	828	78,00
AIRBUS	A321	44,51	3,95	122,00	2	134,00	220	2	5.600	828	93,50
BOEING	B727	45,20	3,76	157,90	3	72,37	175	3	4.548	915	81,12
BOEING	B737	35,59	3,76	117,02	2	106,53	167	2	5.208	811	69,49
BOEING	B757	47,73	3,76	161,25	2	178,00	237	2	7.176	869	109,63
DOUGLAS	DC8	53,02	3,73	266,64	4	80,94	229	3	7.302	898	153,61
MCDONNELL DOUGLAS	DC9	36,36	3,35	92,17	2	68,27	115	2	2.944	814	48,80
MCDONNELL DOUGLAS	MD80	44,67	3,35	112,30	2	87,50	170	2	3.920	811	68,13

Tabla 4.3-1 Tabla de las 10 variables independientes para los 24 casos.
Fuente: esta tesis doctoral.

Una vez alcanzado este objetivo, se pasará a la segunda parte de la tesis con el estudio de los indicadores clave de las aerolíneas.

Capítulo 5

SEGUNDA PARTE: INDICADORES CLAVE DE LAS AEROLÍNEAS

5.1. Selección del modelo de estudio - ATA.

Hasta este punto de la tesis, se han estudiado las características de las aeronaves comerciales desde los años 30 hasta la actualidad, evidenciando desde la evolución de las mismas, los parámetros o variables que han caracterizado una aeronave de cualquier época. Se han elegido las aeronaves más representativas y dentro de ellas, se han seleccionado los parámetros (variables caracterizadoras) que las representan. Estas variables tecnológicas y conceptuales se han seleccionado con premisas técnicas, correspondientemente argumentadas, y además se han depurado con argumentos estadísticos a lo largo de los apartados del capítulo 4.

Al final lo que se ha conseguido, es concentrar en una colección de 10 variables las características de las aeronaves estudiadas, permitiendo a partir de aquí, buscar la relación de estas 10 variables con los indicadores clave de rendimiento y productividad que utilizan las compañías aéreas. Es decir, en esta segunda parte de la tesis, se van a definir los parámetros de valoración de la productividad y la rentabilidad en la explotación de las aeronaves para el transporte de pasajeros por parte de las aerolíneas, parámetros que se han denominado en esta tesis y se seguirán nombrando en los capítulos que siguen como Indicadores Clave de Rendimiento o KPIs.

El objetivo es el de conseguir, a partir de una muestra de datos, las correlaciones (si existen) entre las variables caracterizadoras y los KPIs seleccionados, es decir, vincular criterios de rentabilidad a variables caracterizadoras, creando un modelo que vincule datos sobre características y performances de una aeronave y su posterior productividad y rendimiento en una aerolínea, en un entorno general estable.

Para esta parte de la tesis, se han tomado como **muestra** las **aeronaves utilizadas por las compañías aéreas asociadas a la Asociación Norteamericana del Transporte Aéreo (ATA: Air Transport Association of America)** desde 1937 hasta el año 2011.

Aunque se han incluido los datos de partida desde los primeros anuarios de ATA I[13], por coherencia de los datos y volumen de los mismos en el estudio estadístico y posterior obtención del modelo se usarán únicamente los datos desde 1960, dado que los datos anteriores no tienen el detalle necesario, ni son de utilidad de cara al tipo de aeronaves actuales, ni futuras.

Se han elegido los anuarios de ATA, porque aportan el resumen completo e ideal tanto del grupo de aeronaves en servicio por modelo de aeronave que todos sus asociados han utilizado en el año del anuario, como también el valor de los KPIs totales que estas aerolíneas han obtenido en el año. Si se considera que entre las aerolíneas asociadas están algunas de las más importantes del mundo, que las aeronaves que utilizan son semejantes a las de otras aerolíneas de otras partes del mundo y que Estados Unidos es representativo de un mercado maduro occidental, el modelo de estudio definido por esta muestra debe ser significativo y extrapolable a mercados análogos.

Para corroborar la afirmación:

- En la Figura 5.1-1 se observa que Estados Unidos tiene un volumen de transporte aéreo (*trips per capita*: viajes per cápita) de igual orden que en el resto de los países desarrollados (*GDP per capita*: PIB per cápita, mayor de 30.000 US$), lo que garantiza la semejanza en la industria.
- En la Fig. 5.1-2 se aprecia que el factor de ocupación de las aeronaves americanas es y se ha comportado de manera similar al del resto del mundo.
- Y en la Fig. 5.1-3, se puede verificar la equiparación de flotas en servicio en 2012 para aeronaves de más de 90 pasajeros, la relación entre aeronaves de pasillo único (single aisle) y las de fuselaje ancho (wide body) es del orden de 3,5.

Con todo ello se puede asegurar en primera aproximación, que las características del

transporte aéreo de pasajeros y de las aerolíneas norteamericanas son similares a las de Europa en su conjunto, por lo que el modelo basado en la muestra descrita, previsiblemente, permitirá la inferencia a otras regiones del planeta.

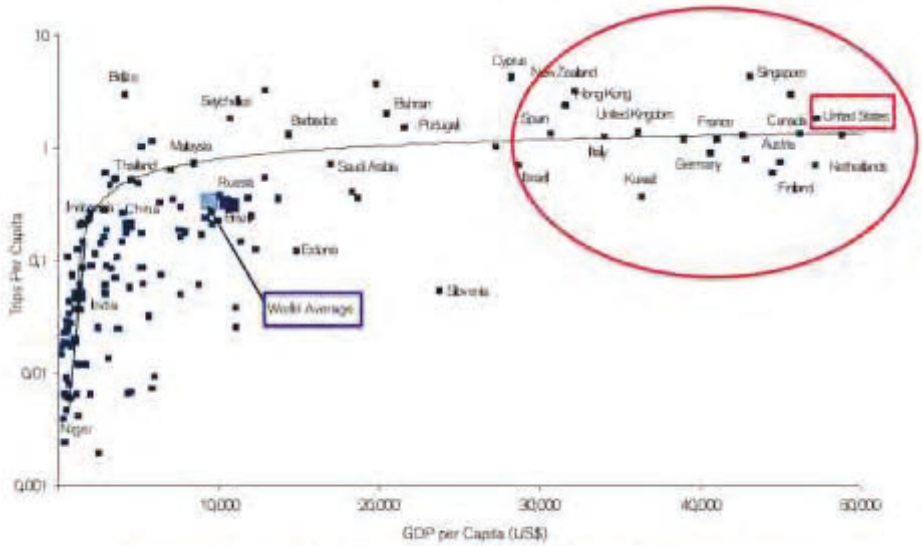


Gráfico 5.1-1 Travel markets at very different stages of development.
Fuente: IATA, PaxIS, IMF.

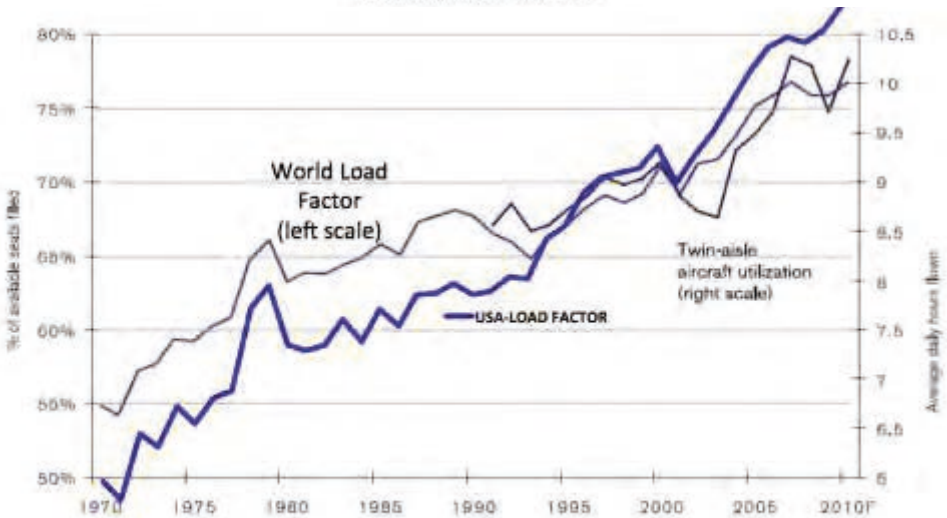


Gráfico 5.1-2 Aircraft asset utilization has improved significantly.
Fuente: ICAO, ACAS.

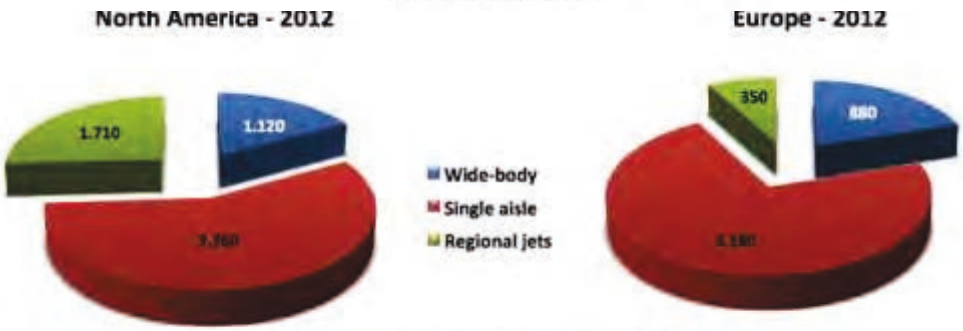


Gráfico 5.1-3 Aircraft fleet 2012 by region.
Fuente: Boeing Current Market Outlook 2013 to 2032.

5.2. Histórico de indicadores y aeronaves - ATA.

Como se comentaba en el apartado anterior, se han seleccionado las aeronaves utilizadas por todas las aerolíneas asociadas a ATA (Air Transport Association of America) desde los primeros anuarios I[13] recopilados, que es de 1938 y que recoge los datos de 1937, hasta el anuario de 2011 que recoge los resultados de 2010. Cada año con las aeronaves en servicio correspondientes.

	A300	A319	319	318	A320	A321	A330	A340	B711	B727	B737	B747	B757	B767	B777	Ex 340	340/ 640	DC3	DC4	DC6	DC7	DC8	DC9	DC10	MD80	Convair	Super Con	A-314	Clipper 250	TOTAL
1938																		163												163
1939																		89												89
1940																		145												145
1941																		215												215
1942																		187												187
1943																		162												162
1944																		206												206
1945																		314												314
1946																		553	200							35				788
1947																		435	148	21						21				625
1948																16		442	151	55						32				696
1949																83		398	190	104						93				870
1950																103		398	190	111						93				895
1951																118		444	121	145						116		13		1003
1952																113	8	416	190	195						115	34	16		1158
1953																113	25	425	185	189										937
1954																102	121	359	155	251										988
1955																98	123	336	146	257										960
1956																102	142	356	143	289	152					117	78	97		1482
1957																100	165	380	93	345	257					129	126	65		1574
1958																76	144	391	95	364	252					112	140	65		1649
1959																46	158	305	52	325	220	18				62	139	65		1791
1960																81	146	276	52	301	217	75				78	125	60		1804
1961																46	148	242	25	285	215	83				69	115	64		1803
1962																32	148	213	15	230	209	105				44	114	60		1164
1963																49	150	197	14	217	164	104				40	111	35		1126
1964										88						51	153	164	15	205	121	114				41	101	65		1122
1965										159						18	145	140	5	171	64	130	4			36	70	71		1063
1966										277						32	112	105	5	151	49	143	54			37	61	73		1076
1967										384						11	78	76	4	102	27	161	142			6	38	57		1091
1968										516	56					3	48	54		7	16	217	280					46		1190
1969										605	132	1				1	7	6		7	10	254	318				1	37		1378
1970										631	133	79					6			3	2	297	327					18		1456
1971										639	133	104					4	2		3		336	334	13				17		1484
1972										652	134	108				1	1	2		3		237	329	38				17		1567
1973										715	134	128					6			3		267	336	68				14		1604
1974										724	132	103					6			1		180	319	102				12		1584
1975										765	133	97					7	4		1		177	357	121				9		1685
1976										753	138	104					8	4		2		171	348	122				1		1680
1977	4									618	140	95					4	1		1		133	357	123				1		1580
1978	6									909	151	113										127	367	128						1798
1979	12									1020	208	131										184	381	146						2061
1980	19									1071	212	144										134	394	152						2127
1981	34									1042	249	148										138	444	155						2201
1982	30									985	282	141	2									133	496	162						2218
1983	34									1036	283	148	16									102	553	164						2325
1984	38									1047	314	150	25									90	586	162						2460
1985	48									1108	360	157	47									85	622	183						2650
1986	55									1102	447	148	73									83	677	188						2797
1987	55									1148	534	169	91									113	752	193						3123
1988	57									1141	705	171	115									94	828	202						3325
1989	67				6					1161	724	182	137									90	488	187	382					3432
1990	63				18					1139	790	198	195									91	498	195	402					3637
1991	65				44					958	798	177	227									83	384	195	502					3584
1992	55				81					880	848	173	301									63	350	370	344					3497
1993	55				101					773	921	185	345									62	348	174	358					3322
1994	62				134					738	1004	192	392									80	639	189	315					3687
1995	49				142			2		650	1103	196	422		3							93	397	192	360					3729
1996	54				156			4		718	1092	191	436		18							96	403	189	385					3688
1997	55				194			8		728	1123	202	426		30							131	460	198	628					4254
1998	65				210			8		666	1120	203	526		40							133	450	212	640					4308
1999	71	111			234		2	12		579	1242	201	567		72							126	390	193	679					4449
2000	84	172			257		10	25		527	1319	211	588		96							117	372	146	670					4603
2001	94	217			321	26	17	13		467	1355	217	616		115							80	269	123	613					4455
2002	104	208			360	44	17	13		371	1371	206	640		129							77	200	94	598					4438
2003	115	216			296	39	14			174	1299	133	618		125							71	238	100	521					3946
2004	124	224			322	39	24			157	1314	129	628		123							57	239	110	498					3987
2005	137	212			334	28	27			108	1217	128	600		122							66	188	102	466					3609
2006	149	214			341	26	33			154	1198	125	605		124							60	188	85	479					3773
2007	158	205			351	36	41			114	1285	123	601		127							46	151	78	470					3876
2008	162	205			358	35	41			110	1217	101	588		129							53	87	78	432					3840
2009	124	273			368	33	46			77	1198	93	597		136							8	66	78	418					3521
2011	124	283	50	4	416	65	50		104	56	1256	66	620	342	156									85	639					4124
2012	124	279	32	3	433	73	51		17		1346	33	594	309	160									85	339					3917

Tabla 5.2-1 Flota histórica por tipo de aeronave de las aerolíneas miembros de ATA de 1938-2012.
Fuente: Anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

De la misma manera se han extraído los rendimientos anuales globales de las aerolíneas miembros de ATA y se presentan en sucesivas tablas separados de la siguiente manera:

1. Indicadores de rendimiento 1937-1959

a. Traffic and Capacity:

i. Total Passengers Carried – American Flag Airlines *(Pasajeros totales transportados por aerolíneas norteamericas)*:
   - ≠ Total American Flag Airlines: total de pasajeros transportados por aerolíneas norteamericanas.
   - ≠ Domestic Airlines: total de pasajeros transportados en vuelos nacionales.
   - ≠ International Airlines: total de pasajeros transportados en vuelos internacionales.

ii. Passenger Miles Flown *(Total de millas voladas por los pasajeros)*:
   - ≠ Total American Flag Airlines: total de millas voladas por pasajeros transportados en aerolíneas norteamericanas.
   - ≠ Domestic Airlines: total de millas voladas por pasajeros transportados en vuelos nacionales.
   - ≠ International Airlines: total de millas voladas por pasajeros transportados en vuelos internacionales.

iii. Average Trip per Passenger: distancia media recorrida por cada pasajero en un vuelo.

b. Operating and Safety Statistics:

i. Passenger Yield (PaxYield): tarifa media pagada (rendimiento) por milla y pasajero (¢/mile).

ii. Passenger Load Factor (PaxLF): porcentaje de ocupación de la capacidad del avión.
   - ≠ Domestic: vuelo/compañía nacional.
   - ≠ International: vuelo/compañía internacional.

iii. Passenger fatalities *(Pasajeros fallecidos)* :
   - ≠ Domestic: vuelo/compañía nacional.
   - ≠ International: vuelo/compañía internacional.

Todos estos indicadores se pueden observar en las tablas 5.2-3, 5.2-4, 5.2-5, 5.2-6 y 5.2-7, a continuación:

YEAR	TOTAL PASSENGERS CARRIED- American Flag Airlines										
	Total American Flag Airlines			Domestic Air Lines				International			
				Yearly totals			Monthly Averages	Yearly Totals			Monthly Averages
	Domestic	International	Total	Revenue	Non-Revenue	Total	Domestic	Revenue	Non-Revenue	Totals	Internat.
1926	5782	0	5782	-	-	5782	481	-	-	0	-
1927	8661	18	8679	-	-	8661	721	-	-	18	-
1928	47840	1873	49713	-	-	47840	3986	-	-	1873	-
1929	159751	13654	173405	149581	10170	159751	13312	-	-	13654	-
1930	374000	42570	416570	329943	44057	374000	31244	-	-	42570	-
1931	469764	61681	531445	413366	56398	469764	39165	-	-	61681	-
1932	474279	73281	547560	417366	56913	474279	39523	-	-	73281	5960
1933	499141	83471	582612	439964	59177	499141	41595	-	-	83471	6159
1934	461743	110522	572265	406334	55409	461743	38478	-	-	110522	9067
1935	746946	127170	874116	663261	83685	746946	62245	-	-	127170	9275
1936	1020951	109834	1130785	911146	109805	1020951	85077	-	-	109834	7310
1937	1102707	139955	1242662	958510	144197	1102707	91892	-	-	139955	9360
1938	1343427	144686	1488113	1176858	166569	1343427	111952	-	-	144686	9106
1939	1876051	169970	2046021	1717090	158961	1876051	156337	161163	2804	169970	11341
1940	2959480	225798	3185278	2727920	231560	2959480	246624	219648	8952	225798	14182
1941	4060545	320065	4380610	3758850	291695	4060545	338378	311033	9010	320065	19650
1942	3551835	392146	3943979	3349134	202699	3551835	295986	383933	8213	392146	23017
1943	3454040	437957	3891997	3351537	102503	3454040	287837	424471	13486	437957	24457
1944	4666466	522759	5189225	4597652	92814	4666466	389038	507852	14957	522759	29722
1945	6687968	475558	7163526	7380325	119513	7502536	609621	763767	21066	784833	41125
1946	12464754	1541283	13996037	12214000			1042113	1041000			88645
1947	13169366	1412580	14621546	12891000			1074183	1369000			113294
1948	12168000	1373000	14541000	12168000			1123092	1373000			114321
1949	15081000	1520000	16601000	15081000			1241441	1520000			127229
1950	17424000	1675000	19099000	17424000			1445576	1675000			139712
1951	22552000	2533000	24985000	22552000			1883562	2533000			169231
1952	25010000	2362000	27372000	25010000			2084167	2362000			196833
1953	28722000	2682000	31404000	28722000			2393500	2682000			223500
1954	32519000	2886000	35405000	32519000			2709917	2886000			240667
1955	36628000	3376000	41404000	36628000			3169000	3376000			291333
1956	41740000	3886000	45626000	41740000			3478333	3886000			324000
1957	44950000	4065000	49015000	44950000			3745833	4065000			338750
1958	44578000	4176000	48754000	44578000			3714833	4176000			348000
1959	50824000	4704000	55528000	50824000			4235333	4704000			392000

Tabla 5.2-2 Total passengers carried. American Flag Airlines (1926-1959).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

YEAR	PASSENGER MILES FLOWN										Average Trip Per Passenger (miles)	
	Total American Flag Airlines			Domestic Air Lines				International				
				Yearly Totals			Monthly Averages by Years	Yearly totals				
	Domestic	International	Total	Revenue	Non-Revenue	Total		Revenue	Non-Revenue	Totals	Domestic	Internat.
1926	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1927	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1928	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1929	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1930	84014572	10732077	103747249	-	-	84014572	7001214	-	-	10732077	224	464
1931	109442377	14660402	121122777	-	-	109442377	9078197	-	-	14660402	236	378
1932	127038798	21147539	148186337	-	-	127038798	10586566	-	-	21147539	268	399
1933	173482116	26283919	199766034	-	-	173482116	14456176	-	-	26283919	352	665
1934	167858628	38702229	206560857	-	-	167858628	13954775	-	-	38702229	487	351
1935	313968506	48465412	362370920	270378912	34589594	313968506	26156792	-	-	48465412	420	381
1936	435740253	45078586	480818839	388242130	47498123	435740253	37976354	-	-	45078586	427	414
1937	478601165	56255447	534856612	437299893	56307272	478601165	39716930	-	-	56255447	432	499
1938	557716268	60110955	617827223	476602260	81113988	557716268	46476605	-	-	60110955	415	415
1939	746797096	88601146	834918242	677372955	72114141	749370096	61442259	1316921	86642545	88031146	400	537
1940	1147444848	117719111	1265164259	1041173598	106271380	1147444848	95620418	1112248922	5470189	117719111	388	614
1941	1491734671	185214555	1676949226	1369594231	122150440	1491734671	124311139	1736314231	6208334	185214555	367	713
1942	1481976329	269052268	1750228597	1369042146	83934183	1481976329	123498027	2639999132	4255434	269052268	417	692
1943	1642596640	284008915	1926605555	1601119469	36477172	1642596640	136883053	2709223535	13435416	284008915	476	874
1944	2284283453	352206362	2636489815	2232571113	34711340	2284283453	190357353	3405313122	11683258	352206362	539	910
1945	3509103057	462813726	3971916783	3453587356	47414762	3509103057	287723946	3073386334	15376473	462813726	511	842
1946	6067108557	1130822623	7197931070	5947966300		6067108557	495589300	1108741000			487	1097
1947	6900579643	1139451671	8040031314	6103479300		6103479300	508289583	1010984000			476	1335
1948	5463180000	1488997000	7952177000	5463180000			455265167	1488997000			453	1378
1949	6764166000	2057060000	8821226000	6764166000			563652167	2057060000			469	1358
1950	7796000000	2284000000	10080000000	7796000000			649666667	2284000000			451	1316
1951	10210000000	2599000000	12809000000	10210000000			850833167	2599000000			485	1275
1952	12120000000	3019000000	15140000000	12120000000			1010000167	3019000000			533	1277
1953	14267000000	3381000000	17648000000	14267000000			1188916667	3381000000			547	1261
1954	16236000000	3743000000	19979000000	16236000000			1353000333	3743000000			550	1261
1955	19217000000	4410000000	23627000000	19217000000			1601433333	4410000000			557	1307
1956	23643000000	5113000000	28756000000	23643000000			1970250000	5113000000			576	1315
1957	24469000000	5751000000	30220000000	24469000000			2039083333	5751000000			626	1415
1958	24436000000	5874000000	30310000000	24436000000			2036333333	5874000000			616	1429
1959	29127000000	6894000000	36021000000	29127000000			2427250000	6894000000			632	1466

Tabla 5.2-3 Total Passengers-Miles Flown. American Flag Airlines (1926-1959).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

YEAR	Average Passenger Fare per Mile (Cents per mile) = Passenger Yield		Passenger Load Factor			Passenger fatalities				
			Domestic		International	Airlines of U.S.A.				
	Domestic	International	Revenue	total (revenue + non-revenue)		nº of Domestic fatalities	fatalities per 100 million passenger miles	nº of international fatalities	fatalities per 100 million passenger miles	Total nº of fatalities
1926	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1927	10,6	-	-	-	-	4	-	4	-	8
1928	11	-	-	-	-	14	-	1	-	15
1929	12	-	-	-	-	14	18,67	4	-	18
1930	8,5	-	-	-	-	24	28,57	0	0	24
1931	8,7	-	-	-	-	25	23,40	1	0,81	26
1932	8,1	-	-	42,34	-	19	14,96	6	28,57	25
1933	8,1	-	-	40,97	-	8	4,87	0	0	8
1934	5,9	-	-	51,82	-	17	8,05	4	10,31	21
1935	5,7	-	46,81	54,83	-	15	4,79	0	0	15
1936	5,7	-	51,58	64,01	-	44	10,1	3	4,44	47
1937	5,6	-	54,24	57,55	-	40	9,39	11	16,98	51
1938	5,7	-	49,09	59,74	47,57	25	4,49	7	11,65	32
1939	5,1	-	53,03	62,08	47,54	9	1,2	10	11,76	19
1940	5,1	6,8	58,58	63,84	58,23	35	3,08	0	0	35
1941	5	6,6	56,48	64,40	59,96	35	2,35	2	1,59	37
1942	5,3	6,9	64,34	70,48	67,92	55	3,71	0	0	55
1943	5,5	7,9	62,29	60,01	74,42	22	1,34	10	3,52	32
1944	5,1	7,9		60,83	79,37	46	2,12	17	4,83	63
1945	4,5	6,7		69,33	76,78	76	2,23	17	3,87	93
1946	4,5	6,3		62,33	70,65	75	1,24	40	3,54	115
1947	5	7,6		66,94	61,9	199	3,45	20	1,18	219
1948	5,7	8		58,34	57,38	83	1,3	1	1	103
1949	5,7	7,3		59,2	56,67	91	1,5	0	0	93
1950	5,5	7,3		62,7	59,71	96	1,1	48	2,1	144
1951	5,6	7,1		69,59	59,98	142	1,3	31	5,1	173
1952	5,5	7		67,09	62,24	40	0,4	94	3	140
1953	5,5	6,9		64,65	61,9	86	0,6	2	0,1	88
1954	5,4	6,8		63,38	59,58	16	0,1	0	0	16
1955	5,3	6,7		64,05	62,4	156	0,79	2	0,04	158
1956	5,3	6,7		64,12	61,34	141	0,64	9	0,17	152
1957	5,3	6,6		61,3	61,64	30	0,12	40	0,67	70
1958	5,6	6,5		60,05	59,4	113	0,45	11	0,19	124
1959	5,6	6,4		61,42	65,83	211	0,72	59	0,88	270

Tabla 5.2-4 Operating and Safety Statistics. American Flag Airlines (1926-1959).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

YEAR	DOMESTIC AIR LINES					INTERNATIONAL AIR LINES					
	NUMBER OF PLANES IN SERVICE	DAILY AVERAGE REVENUE MILES FLOWN	ROUTE MILES	AVAILABLE SEAT MILES FLOWN (millions)	AVERAGE AVAILABLE SEATS	NUMBER OF PLANES IN SERVICE	DAILY AVERAGE REVENUE MILES FLOWN	ROUTE MILES	AVERAGE AVAILABLE SEATS	AVAILABLE SEAT MILES FLOWN (millions)	NUMBER OF PLANES TOTAL
1926											
1927											
1928	286	28416	-		-	57	746	1077			1200
1929	442	91315	-		-	83	7966	11486			525
1930	497	87601	-		-	103	13569	19662			600
1931	490	117138	-		-	100	13400	18649			590
1932	456	124334			6,58	108	15206	19560			564
1933	408	120621	-		7,50	96	16792	24875			504
1934	417	112207	-		8,85	101	22217	22717			518
1935	386	151727	-		10,34	103	25251	32184			489
1936	372	174255	-		10,67	108	28398	32913			380
1937	282	181018	-		12,53	104	23640	32901			386
1938	253	190873	39267		13,92	92	23068	37775			340
1939	265	229223	39782		14,63	74	23026	44896			339
1940	369	297359	44643		16,52	92	29261	53025	18,28		461
1941	370	364446	46453		17,41	94	41169	-	18,08		464
1942	186	301652	49297		17,60	75	55864	-	17,73		261
1943	204	283940	54502		17,61	79	54557	27211	17,61		283
1944	288	389618	62937		17,03	79	66934	29708	18,48		367
1945	421	572519	66466		19,68	97	86202	46160	18,91		518
1946	647	848166	94358	7480,4	25,26	146	162666	60419	27,21	1563,7	793
1947	793	903715	110716	9152,4	30,3	168	241389	107579	35,18	2924,3	961
1948	764	946452	113541	9960,2	33,14	199	267906	175488	38,06	3292,3	963
1949	779	995570	115997	11117,7	36,6	199	286974	176798	37,38	3624,7	978
1950	802	969339	130606	12385,60	40,53	193	257042	177500	42,33	3600,40	995
1951	821	1004078	133806	14671,2	41,67	193	256928	239468	44,38	4334,50	1014
1952	871			18068,1		360				4846,60	1231
1953	929			22114,8		351				5462,40	1280
1954	926			25623,3		425				6285,90	1351
1955	897			30001,30		433				7012,10	1330
1956				33752,60						8073,10	1703
1957				39638,20						9036,10	1831
1958				40695,00						10057,60	1873
1959				46799,20						10473,30	1871

Tabla 5.2-5 Traffic and Capacity Pax. American Flag Airlines (1926-1959).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

YEAR	REVENUE MILES FLOWN				airline personnel			Fuel consumed (gallons)			
	Total American Flag Airlines							domestic		international	
	Domestic	International	Total	Domestic Total Non-Revenue	domestic	internat	total	gasoline	oil	gasoline	oil
1926	4258771	53316	4316087	-	-	-	-	-	-	-	-
1927	6779863	90826	6870689	-	-	-	-	-	-	-	-
1928	10460239	213211	10673450	-	1451	49	1498	-	-	-	-
1929	22380028	2761479	25141499	-	1936	409	2345			-	-
1930	31992634	4952649	36945283	-	2740	735	3475	1145795	371489	3092412	81493
1931	42755417	4806990	47646407	-	4300	1367	5667	1403889	555506	3118895	87424
1932	45896954	5665533	51562487	-	4020	1612	5632	1971252	631829	3971696	70193
1933	48771563	6108461	54879014	-	4361	1934	6295	2193292	904961	4487504	119450
1934	40865396	6108377	46964773	-	4179	2299	6477	1887267	987775	4264217	172981
1935	55380353	6487345	61867698	-	5917	2435	8352	2706711	707868	5194892	172789
1936	63777326	7434609	71211735		7045	2960	9995	3082923	675656	6700898	197917
1937	66071507	8628730	74700237		7529	4063	11592	3396780	829127	7917614	215443
1938	69668827	8528412	78197239	3101080	8995	4304	13300	3721874	844768	8091449	185102
1939	82571523	8404540	90976063	3296376	10609	5414	16023	4655856	726507	9082279	194689
1940	108000436	10716827	118717263	4505602	15600	6256	22056	6498284	1087208	9625645	208599
1941	133022679	15188805	148211644	5114404	18984	7474	26458	6975892	1258983	12201604	299535
1942	110102860	20390260	130493120	3960400	26847	13214	39661	6808246	989103	17662754	348039
1943	103601443	20059376	123660819	2752798	30349	9625	39974	6398586	978923	14751293	256559
1944	142234834	24279413	166512847	4876731	31084	11408	42503	8814632	1238941	16912705	270512
1945	208969279	32212050	241181329	9108239	40313	17483	57796	13482412	1709566	20886866	315000
1946	329640439	39373265	369013704		63127	27372	90499	23168588	2767000	30643323	704868
1947	329856142	48077532	417933674		63711	28154	91865	29419613	3733728	36372696	1224810
1948	320198517	53891245	436300000		59266	28673	84808	33242953	4250151	123403583	1290962
1949	329642964	57150400	456100000		60176	18176	78346	37221464	4682760	130888108	1067739
1950	327100000	63900000	461000000		61983	20912	82896	41344173	5000531	153864225	1009083
1951	362500000	97500000	520000000		72998	22365	95363	49148369	5549947	169910489	1741878
1952	411400000	103600000	561400000		78827	25377	104072	55823361	6937230	182105294	1921121
1953	467000000	109600000	627000000		82909	22630	105539	66834977	7149093	184964486	2047545
1954	496200000	119500000	612700000				109641				
1955	564000000	130700000	694700000				122207				
1956	622100000	146000000	768100000				131603				
1957	711100000	156700000	868000000				147190				
1958	700600000	165500000	866100000				147110				
1959	743500000	164500000	908000000				162029				

Tabla 5.2-6 Traffic and Operating Statistics. American Flag Airlines (1926-1959).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

YEAR	Ton miles data													
	Ton miles of mail, express and cargo						Ton miles flown (millions)							
	air mail		express & cargo		total cargo traffic		available ton miles flown		revenue ton miles flown		passenger ton miles		load factor	
	domestic	internat	domestic	internat	domestic	internat	domestic	internat	domestic	internat	domestic	internat	domestic	intern
1926			-											
1927														
1928			58913		58913									
1929			69898		69898									
1930			109066		109066									
1931	3148206		220657		3368862									
1932	2701128		289512		2990637									
1933	2567924		422860		2990784									
1934	2461412		597293		3058705									
1935	4132608		1089802		5222410									
1936	5741437		1860809		7602246									
1937	6698030		2156970		8854100									
1938	7422860		2173706		9596566									
1939	8597877		2706614		11303491									
1940	10038229		3469485		13507714				119766					
1941	12900569		5242529		18143098				168252					
1942	21068272		11691208		32759480				177099					
1943	35769898	1080715	11117925	5088320	46887814	7027940			218273	34302				
1944	61138871	2048150	17094029	6207137	68233000	8255287			269885	39705	217821			
1945	85100133	4032996	23316993	8717511	89266126	13450407			427978	60019	333636			
1946	32964030	8561749	43485446	15092127	76449476	23653876	982.2	211.7	660.054	136.8	572.963	109.983	66.19	64.61
1947	33086175	15993383	70805531	34253100	103891706	50246483	1202.5	418.4	683.36	238.4	679.869	164.303	58.63	58.99
1948	37925396	17122179	100287000	45691000	138132396	62761179	1352.9	468.8	703.089	265.4	668.68	194.399	61.97	66.61
1949	41413854	19368769	121519000	56180000	162931854	75623768	1505.5	535.1	803.368	297.2	632.014	211.725	53.24	55.54
1950	46376000	21100000	149939000	68563000	196315000	89763000	1602.9	544.9	953.6	319.7	747.598	228.114	57.22	58.67
1951	62932000	23970000	140541000	71260000	203473000	95230000	1969.3	599.3	1196.1	371.4	982.842	267.083	61.04	61.97
1952	65296000	22066000	157703000	72622000	223000000	94688000	2384.2	652.7	1404.9	418.5	1167.596	310.716	58.83	61.3
1953	71726000	24466000	174251000	74664000	245977000	99130000	2980.9	749.4	1637.5	459.1	1377.126	341.383	56.84	61.36
1954	80176000	25376000	184330000	82109000	264506000	107485000	3297.1	837.4	1848.1	513.4	1567.309	379.801	56.05	61.3
1955	86034000	32406000	223620000	98541000	309654000	143250000	3802.7	984.6	2160.1	633.8	1825.631	463.196	56.63	64.37
1956	77759000	35156000	248301000	109235000	326060000	144390000	4393.2	1143.4	2417	741.2	2056.098	524.308	52.02	64.82
1957	97134000	37267000	261184000	123389000	358318000	160656000	5150.4	1292.9	2720	827	2327.334	589.51	52.81	63.96
1958	103964000	35675000	266400000	129750000	370364000	165425000	5190.2	1426.6	2750.9	873.1	2321.347	597.326	53	61.2
1959	116414000	31686000	330529000	153966000	446943000	225142000	5849.3	1573.7	3166.8	1026.4	2672.061	698.518	53.33	65.23

Tabla 5.2-7 Traffic and Capacity Cargo and Mail. American Flag Airlines (1926-1959).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

2. Indicadores de rendimiento 1960-2010

a. Traffic and Capacity *(Tráfico y Capacidad)* :

i. Passengers *(Pasajeros)* [Pax]:

≠ Passengers Emplaned *(Pasajeros embarcados)* [PaxE].

≠ Revenue Passenger Miles *(Millas recorridas por pasajeros de pago)* [RPM].

≠ Available Seat Miles *(Millas recorridas por los asientos disponibles)* [ASM].

ii. Cargo *(Carga)*:

≠ Cargo Traffic Ton Miles *(Millas recorridas por toneladas de carga transportadas)* [CRTM].

≠ Revenue Ton Miles *(Millas recorridas por toneladas de pago transportadas)* [RTM].

≠ Available Ton Miles *(Millas recorridas por toneladas disponibles para transportar)* [ATM].

iii. Aircraft *(Aeronave)*:

≠ Aircraft Departures *(Aeronaves que han despegado)*.

≠ Aircraft Miles *(Millas recorridas por las Aeronaves)*.

≠ Aircraft Hours *(Horas de vuelo de las Aeronaves)*.

b. Operating Statistics *(Estadísticas de Operaciones)*:

i. Passenger Load Factor *(Factor de ocupación del pasaje)* [PaxLF].

ii. On-Flight Trip Length [OFTL]: Average Trip Segment *(Distancia media por vuelo en millas)*.

iii. Fuel Gallons Consumed *(Galones de combustible consumidos)*.

c. Earnings *(Devengos = Ingresos y gastos)*:

i. Operating Revenues [$ Millions] *(Millones de dólares ingresados por operaciones)*.

ii. Operating Expenses [$ Millions] *(Millones de dólares gastados en operaciones)*.

d. Financial Ratios *(Ratios Financieros)*:

i. Passenger Yield (¢/RPM) *(Rendimiento por pasajero y milla)*[16]

ii. Passenger Unit Revenue (¢/ASM) *(Ingreso por ud. de pasaje)*[16]

iii. Cargo Yield (¢/RTM) *(Rendimiento por tonelada y milla)*[16]

iv. RASM (¢)*(Ingresos por asiento y milla recorridos)*: Servicio total y planificado.

v. CASM (¢)*(Costes por asiento y milla recorridos)*: Servicio total y planificado.

e. Employment and Safety *(Empleo y seguridad)*:

i. Total Industry Employment *(Empleo total generado por la industria)*.

ii. Total Fatalities *(Número total de muertes)*.

Todos estos indicadores se pueden observar en las tablas 5.2-8, 5.2-9, 5.2-10, 5.2-11 y 5.2-12, a continuación:

[16] *Sólo para servicios planificados.*

YEAR	TRAFFIC AND CAPACITY - PAX								
	Revenue Passengers Enplaned			Revenue Passenger Miles (000)			Available Seat Miles (000)		
	Domestic	Internat	total	Domestic	Internat	total	Domestic	Internat	total
1960	48678	5904	54582	29233199	8306348	37539547	49153645	13347126	62500771
1961	48352	6112	54464	29534792	8768501	38303293	52525014	15769527	68294541
1962	51032	7079	58111	31827840	10137777	41965617	59736760	18724360	78461120
1963	58222	8037	66259	36383756	11905430	48289186	67601302	22590210	90191512
1964	65963	9381	75344	41658368	14352393	56010761	75242408	25791373	101033781
1965	76677	10847	87524	48986972	16789044	65776016	88731152	29532832	118263984
1966	86423	12272	98695	56802788	19298420	76101208	97174719	33175647	130350366
1967	105854	14020	119874	70990141	23259314	94249455	124141624	41118729	165260353
1968	118810	16407	135217	81611832	26450644	108062476	153864640	49575001	203439641
1969	129883	13493	143376	95657705	22702695	118360400	190064198	44411659	234475857
1970	122866	16260	139126	95899744	27563211	123462955	194461930	51959992	246421922
1971	124351	17474	141825	97756113	29219294	126975407	202509471	58320186	260829657
1972	136590	18897	155487	108189968	34268298	142458266	206617921	60797069	267414990
1973	144753	18936	163689	115352180	35639973	150992153	222446581	65897988	288344569
1974	147999	17725	165724	117616261	33186199	150802460	210997105	63125961	274123066
1975	147428	16316	163744	119445956	31081668	150527624	217855445	61724118	279579563
1976	160451	17039	177490	131424511	33716743	165141254	235538771	61573853	297112624
1977	172231	18043	190274	141276272	36609570	177885842	252567993	64946986	317514979
1978	196073	20757	216830	164150171	44104146	208254317	268190511	69199608	337390119
1979	211554	24072	235626	180717936	52939951	233657887	285962923	83084935	369047858
1980	190404	23452	213856	168224218	52981851	221206069	288315980	84405447	372721427
1981	-	-	285976	-	-	248887801	-	-	424897230
1982	-	-	294102	-	-	259643870	-	-	440119206
1983	-	-	318638	-	-	281829148	-	-	464537979
1984	-	-	343264	-	-	304458727	-	-	514010029
1985	-	-	382022	-	-	336403021	-	-	547788432
1986	-	-	418946	-	-	366545855	-	-	607435847
1987	416831	30847	447678	324637336	79834148	404471484	526958361	121762577	648720938
1988	419210	35404	454614	329309489	93992070	423301559	536662590	140139737	676802327
1989	416331	37361	453692	329975206	102739103	432714309	530079041	154296835	684375876
1990	423565	41995	465560	340230892	117695394	457926286	503004938	170309955	673314893
1991	412269	39941	452210	332406755	115388948	447795703	543413011	171561164	714974175
1992	431693	43415	475108	347931400	130522308	478453708	557988917	194783518	752772435
1993	441902	45347	487249	353630224	135506911	489137135	570680011	200150549	770830560
1994	481755	47093	528848	378990381	140391307	519381688	585437528	198899406	784336934
1995	499000	48773	547773	394707883	145948328	540656211	603917402	203160437	807077839
1996	530661	50540	581201	425489152	152919357	578408509	626184703	208503591	834688294
1997	546400	52700	599100	444795000	160779000	605574000	643890000	216913000	860803000
1998	560900	53300	614200	455800000	163656000	619456000	649442000	224728000	874170000
1999	582900	53100	636000	480134000	171913000	652047000	687502000	230917000	918419000
2000	610000	55500	665500	508151000	184354000	692505000	714006000	242496000	956502000
2001	570100	52000	622100	480348000	171352000	651700000	695200000	235311000	930511000
2002	558900	52800	611700	475975000	163613000	639588000	676768000	215977000	892745000
2003	592400	53900	646300	500271000	156638000	656909000	689069000	204755000	893824000
2004	635500	62300	697800	550472000	181455000	731927000	739540000	229437000	968977000
2005	670400	68200	738600	579688000	199316000	779004000	752475000	250837000	1003312000
2006	671700	72800	744500	585392000	212030000	797422000	740953000	265437000	1006390000
2007	693200	76000	769200	604166000	224866000	829032000	757541000	279575000	1037116000
2008	-	-	741400	-	-	811440000	-	-	1020147000
2009	-	-	703944	-	-	769485000	-	-	957198000
2010	-	-	720500	-	-	798008000	-	-	972562000

Tabla 5.2-8 Traffic and Capacity Passengers. American Flag Airlines (1960-2010).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

YEAR	TRAFFIC AND CAPACITY - CARGO								
	Cargo traffic ton miles (000)			Revenue Ton Miles (000)			Available Ton Miles (000)		
	domestic	internat	total	domestic	internat	total	domestic	internat	total
1960	507296	286444	793740	3332483	1218245	4550728	6582820	2038988	8621808
1961	585595	352878	938473	3435219	1362479	4797698	7176178	2468843	9645021
1962	699046	426476	1125522	3771029	1619903	5390932	8114187	2925899	11040086
1963	752609	466692	1219301	4257567	1855950	6113517	9222953	3488240	12711193
1964	902733	564862	1467595	4928807	2228175	7156982	10752433	4162677	14915110
1965	1131081	841061	1972142	5983537	2856655	8840192	12850594	5139006	17989600
1966	1353051	1164014	2517065	7083014	3883836	10966850	14403764	6653990	21057754
1967	1666721	1347763	3014484	8969988	5113306	14083294	18769379	9030981	27800360
1968	2072466	1596029	3668495	10321322	5978604	16299926	23097750	10779326	33877076
1969	2622526	1389711	4012237	12647138	4953257	17600395	29165115	9220759	38385874
1970	2555646	1481140	4036786	12589056	5185823	17774879	29623686	10203702	39827388
1971	2593965	1455777	4049742	12801877	5500407	18302284	30977903	11545793	42523696
1972	2779389	1475715	4255104	14046278	5888259	19934537	31703285	11877471	43580756
1973	2961808	1589856	4551664	14899642	6081669	20981311	33695886	12430469	46126355
1974	2936571	2542525	5479096	15076887	6901006	21977893	31794899	13375618	45170517
1975	2848635	1560371	4409006	15196727	5315574	20512301	32753356	11044460	43797816
1976	3027003	1661803	4688806	16733696	5724663	22458359	34725175	11097120	45822295
1977	3219309	1755269	4974578	17948272	6040578	23988850	36881691	11549613	48431304
1978	3295024	1759008	5054032	20140854	6627569	26768423	38072875	11485774	49558649
1979	3185107	1965911	5151018	21550331	7553197	29103528	39888307	13337943	53226250
1980	3048972	1901775	4950747	20084378	7377733	27462111	40093494	13329062	53422556
1981	-	-	7060028	-	-	33923495	-	-	64244767
1982	-	-	6859251	-	-	34914729	-	-	65470179
1983	-	-	7573014	-	-	38011227	-	-	68778295
1984	-	-	8168805	-	-	41105321	-	-	75940114
1985	-	-	7689003	-	-	44154779	-	-	80565182
1986	-	-	9025467	-	-	48883854	-	-	90243958
1987	5652673	4363438	10016111	40509782	14407850	54917632	75741397	23411398	99152795
1988	6210052	5259141	11469193	41562502	16776178	58338680	78203055	27067741	105270796
1989	6330959	5849180	12180139	42456752	18617026	61073778	78922498	30437933	109360431
1990	6564549	5984555	12549104	43651162	19975915	63627077	83354510	33757965	117112475
1991	6357184	5752164	12109348	42536363	19808179	62344542	80460413	35406738	115867151
1992	6857044	6341630	13198674	45296134	21383675	66679809	84028272	38239190	122267462
1993	7115561	6973568	14089129	45658726	22649736	68308462	86117842	39735534	125853376
1994	7739087	8322620	16061707	50631589	24879791	75511380	91741725	42156716	133898441
1995	8211536	8709440	16920976	52910081	26295684	79205765	95490896	44562137	140053033
1996	8465738	9232598	17698336	56283606	28100074	84383680	99177930	46943423	146121353
1997	9163000	11351000	20514000	58659000	30944000	89603000	102331000	50592000	152923000
1998	8838000	11638000	20476000	60199000	31454000	91653000	105193000	53817000	159010000
1999	9087000	12526000	21613000	63032000	32811000	95843000	110137000	55650000	165787000
2000	9884000	13727000	23611000	66297000	34724000	101021000	114915000	57659000	172574000
2001	8743000	13260000	22003000	61945000	32432000	94377000	114500000	57498000	171998000
2002	10683000	13826000	24509000	61860000	33477000	95337000	113751000	57388000	171139000
2003	13221000	13513000	26734000	65258000	34288000	99546000	119825000	58637000	178462000
2004	13574000	14404000	27978000	72045000	40925000	112970000	123994000	67089000	191083000
2005	13354000	14682000	28036000	71322000	34613000	105935000	125940000	74351000	200291000
2006	13274000	16008000	29282000	71814000	37211000	109025000	124489000	74684000	199173000
2007	13221000	16304000	29525000	73637000	38790000	112427000	125127000	79257000	204384000
2008	-	-	28383000	-	-	-	-	-	-
2009	-	-	25002000	-	-	-	-	-	-
2010	-	-	27884000	-	-	-	-	-	-

Tabla 5.2-9 Traffic and Capacity Cargo. American Flag Airlines (1960-2010).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

YEAR	TRAFFIC AND CAPACITY - AIRCRAFT								
	Revenue Aircraft Departures			Revenue Aircraft Miles (000)			Revenue Aircraft Hours		
	domestic	internat	total	domestic	internat	total	domestic	internat	total
1960	2298663	212342	2511005	712786	162634	875420	2784941	530264	3315205
1961	2105370	197895	2303265	676781	161297	838078	2386985	452319	2839304
1962	1991680	201209	2192889	699900	171500	871400	2229780	435269	2665049
1963	2075499	213508	2289007	752716	192140	944856	2288840	454244	2743084
1964	2105980	238886	2344866	808419	214375	1022794	2354069	486101	2840170
1965	2252205	257377	2509582	926369	247766	1174135	2541328	549964	3091292
1966	2290949	280481	2571430	995729	285711	1281440	2589592	610954	3200546
1967	2749451	298573	3048024	1258265	350719	1608984	3134676	727445	3862121
1968	3005352	367960	3373312	1486460	408136	1894596	3597467	858123	4455590
1969	3184595	295489	3480084	1747185	359476	2106661	4073520	753347	4826867
1970	2979044	299529	3278573	1748728	369870	2118598	4008837	767440	4776277
1971	2920958	292515	3213473	1727414	350744	2078158	3954387	728331	4682718
1972	2954879	292995	3247874	1711465	350163	2061628	3922530	729613	4652143
1973	3019558	297153	3316711	1743427	361481	2104908	4013888	751773	4765661
1974	2729241	276468	3005709	1589077	357604	1946681	3695515	743790	4439305
1975	2744387	233354	2977741	1599008	305237	1904245	3708205	632756	4340961
1976	2866371	221833	3088204	1673216	295390	1968606	3869621	610752	4480373
1977	2966175	214178	3180353	1755550	295604	2051154	4041999	607222	4649221
1978	2993188	209512	3202700	1812660	301378	2114038	4164775	616823	4781598
1979	2980341	224169	3204510	1908445	337725	2246170	4377706	685307	5063013
1980	2761452	208156	2969608	1871359	321737	2193096	4266522	649168	4915690
1981	-	-	5211867	-	-	2703219	-	-	6571288
1982	-	-	4963794	-	-	2687689	-	-	6408842
1983	-	-	5033906	-	-	2808568	-	-	6649009
1984	-	-	5396766	-	-	3113601	-	-	7365435
1985	-	-	5835474	-	-	3319955	-	-	7947435
1986	-	-	6426970	-	-	3724581	-	-	8931642
1987	6316600	264709	6581309	3529048	459057	3988105	8538955	929112	9468067
1988	6398041	301586	6699627	3603017	537894	4140911	8801744	1091564	9893308
1989	6294084	327904	6621988	3590695	602027	4192722	8820959	1224688	10045647
1990	6557705	365888	6923593	3818074	672719	4490793	9363508	1370232	10733740
1991	6418465	363144	6781609	3707471	706616	4414087	9138962	1432030	10570992
1992	6660642	389991	7050633	3889553	879915	4769468	9446798	1663662	11110460
1993	6825244	405060	7230304	4020756	877256	4898012	9788394	1752171	11540565
1994	7114777	416249	7531026	4222481	880357	5102838	10201791	1761198	11962989
1995	7625758	435763	8061521	4491351	986048	5477399	10863721	1797348	12661069
1996	7781122	446816	8227938	4699266	926679	5625945	11326452	1864917	13191369
1997	7730000	462000	8192000	4694000	992000	5686000	11574000	1988000	13562000
1998	7820000	489000	8309000	4768000	1072000	5840000	11803000	2150000	13953000
1999	8126000	501000	8627000	5057000	1110000	6167000	12470000	2228000	14698000
2000	8453000	539000	8992000	5388000	1172000	6560000	13256000	2367000	15623000
2001	8236000	552000	8788000	5336000	1178000	6514000	13027000	2388000	15415000
2002	8485000	543000	9028000	5409000	1119000	6528000	13377000	2274000	15651000
2003	10270000	569000	10839000	5982000	1087000	7069000	14979000	2229000	17208000
2004	10569000	613000	11182000	6410000	1200000	7610000	15874000	2461000	18335000
2005	10860000	657000	11517000	6596000	1300000	7896000	16371000	2715000	19086000
2006	10569000	699000	11268000	6490000	1422000	7912000	16149000	2918000	19067000
2007	10664000	701000	11365000	6627000	1482000	8109000	16372000	3034000	19406000
2008	-	-	10800000	-	-	7865000	-	-	18800000
2009	-	-	10132000	-	-	7317000	-	-	17490000
2010	-	-	10094000	-	-	7415000	-	-	17654762

Tabla 5.2-10 Traffic and Capacity Aircraft. American Flag Airlines (1960-2010).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

YEAR	OPERATING SATISTICS									FUEL
	Passenger Load Factor (%)			Average Trip Segment (miles)			Ton mile load factor (%)			Gallons Consumed (millions)
	Domes	Internat	total	domestic	intern	total	dome	intern	total	
1960	59,5	62,2	60,1	601	1407	688	50,6	59,8	52,8	4000
1961	56,2	55,6	56,1	611	1435	703	47,9	55,2	49,7	4500
1962	53,3	54,1	53,5	624	1432	722	46,5	55,4	48,8	5000
1963	53,8	52,7	53,5	625	1481	729	46,2	53,2	48,1	5500
1964	55,4	55,6	55,4	632	1530	743	45,8	53,5	48,0	6000
1965	55,2	56,8	55,6	639	1548	752	46,6	55,6	49,1	6500
1966	58,5	58,2	58,4	657	1573	771	49,2	58,4	52,1	7000
1967	57,2	56,6	57,0	671	1659	786	47,8	56,6	50,7	7500
1968	53	53,4	53,1	687	1612	799	44,7	55,5	48,1	8000
1969	50,3	51,1	50,5	736	1683	826	43,4	53,7	45,9	9300
1970	49,3	53	50,1	781	1695	887	42,5	50,8	44,6	9500
1971	48,3	50,1	48,7	786	1672	895	41,3	47,6	43,0	10000
1972	52,4	56,4	53,3	792	1813	916	44,3	49,6	45,7	10500
1973	51,9	54,1	52,4	797	1882	922	44,2	48,9	45,5	10700
1974	55,7	52,6	55,0	795	1872	910	47,4	49,2	48,7	10600
1975	54,8	50,4	53,8	810	1905	919	46,4	48,1	46,8	10500
1976	55,8	54,8	55,6	819	1979	930	48,2	51,6	49,0	10400
1977	55,9	56,4	56,0	820	2029	935	48,7	52,3	49,5	10300
1978	61,2	63,7	61,7	837	2125	960	52,9	57,7	54,0	10188
1979	63,2	63,7	63,3	854	2199	992	54,0	56,6	54,7	10694
1980	58,3	62,8	59,3	884	2259	1034	50,1	55,4	51,4	10267
1981	-	-	58,6	-	-	870	-	-	52,8	10588
1982	-	-	59,0	-	-	883	-	-	53,3	10400
1983	-	-	60,7	-	-	884	-	-	55,3	10671
1984	-	-	59,2	-	-	887	-	-	54,1	11912
1985	-	-	61,4	-	-	881	-	-	54,8	12603
1986	-	-	60,3	-	-	875	-	-	54,2	13682
1987	61,6	65,6	62,3	779	2588	903	53,5	61,5	55,4	14480
1988	61,4	67,1	62,5	786	2655	931	53,1	62,0	55,4	15181
1989	62,3	66,6	63,2	793	2750	954	53,8	61,2	55,8	15462
1990	604	69,1	68,0	803	2803	984	52,4	59,2	54,3	16150
1991	61,2	67,3	62,6	806	2889	990	529,0	55,9	53,8	15248
1992	62,4	67,1	63,6	806	3009	1007	53,9	55,9	54,5	15677
1993	62	67,7	63,5	800	2988	1004	54,2	57,0	54,3	16072
1994	54,7	70,6	66,2	787	2981	982	55,2	59,0	56,4	16826
1995	65,4	71,8	67,0	791	2992	987	55,4	59,0	56,6	17323
1996	67,9	73,3	69,3	802	3026	995	56,8	59,9	57,7	17845
1997	69,1	74,1	70,3	814	3051	1011	57,3	61,2	58,6	18500
1998	70,2	72.8	70,9	813	3070	1009	57,2	58,4	57,6	19500
1999	69,8	74,4	71,0	824	3238	1025	57,2	59,0	57,8	20061
2000	71,2	76	72,4	833	3322	1041	57,7	60,2	58,5	20974
2001	69,1	72,8	70,0	842	3297	1048	54,1	56,4	54,9	20120
2002	70,3	75,8	71,6	852	3098	1046	54,4	58,3	55,7	18154
2003	72,6	76,5	73,5	842	2929	1016	54,5	58,5	55,8	17806
2004	74,4	79,1	75,5	866	2914	1049	58,1	61,0	59,1	19782
2005	77	79,5	77,6	865	2922	1055	56,6	46,6	52,9	20485
2006	79	79,9	79,2	871	2911	1071	57,7	49,8	54,7	19978
2007	79,3	80,4	79,9	872	2959	1078	58,8	48,9	55,0	20131
2008	-	-	79,5	-	-	1094	-	-	-	19378
2009	-	-	80,4	-	-	1093	-	-	-	17711
2010	-	-	82,1	-	-	1108	-	-	-	18400

Tabla 5.2-11 Operating Statistics and Fuel. American Flag Airlines (1960-2010).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

year	Operating Revenues $M	Operating Expenses $M	Pax Yield Scheduled (cents/RPM)	Cargo Yield (cent/RCTM)	RASM (cents) scheduled	CASM (cents) scheduled	RASM (cents) Total	CASM (cents) Total	Employment		Fatalities		Annual fleet
									total	per unit	total	% (E-5)	
1960	2,885	2,807	6,14	25,3	3,69	3,59	4,62	4,49	166235	90	307	56,246	1842
1961	3,064	3,044	6,24	24,12	3,50	3,48	4,49	4,46	169941	91	124	22,767	1858
1962	3,439	3,249	6,31	22,69	3,37	3,19	4,38	4,14	172827	95	121	20,822	1811
1963	3,759	3,479	6,09	22,86	3,26	3,02	4,17	3,86	178887	99	121	18,262	1812
1964	4,251	3,781	5,95	21,95	3,30	2,93	4,21	3,74	191818	104	159	21,103	1843
1965	4,958	4,286	5,87	20,58	3,26	2,82	4,19	3,62	210795	112	226	25,821	1875
1966	5,745	4,970	5,67	20,09	3,31	2,86	4,41	3,81	244028	122	59	5,978	2001
1967	6,865	6,157	5,49	19,79	3,13	2,81	4,15	3,73	276023	126	226	18,853	2186
1968	7,753	7,248	5,46	19,51	2,90	2,71	3,81	3,56	300451	117	305	22,556	2570
1969	8,792	8,401	5,68	19,99	2,87	2,74	3,75	3,58	311922	130	132	9,207	2403
1970	9,290	9,247	5,79	20,94	2,90	2,89	3,77	3,75	297374	123	2	0,144	2421
1971	10,046	9,717	6,05	21,42	2,95	2,85	3,85	3,73	292185	123	174	12,269	2375
1972	11,163	10,579	6,08	21,49	3,24	3,07	4,17	3,96	301127	128	160	10,290	2347
1973	12,419	11,834	6,34	21,92	3,32	3,16	4,31	4,10	311499	132	197	12,035	2364
1974	14,699	13,974	7,29	24,87	4,01	3,81	5,36	5,10	307318	138	420	25,343	2234
1975	15,356	15,228	7,59	27,17	4,09	4,05	5,49	5,45	289926	128	113	6,901	2260
1976	17,502	16,779	7,97	29,22	4,43	4,25	5,89	5,65	303006	134	39	2,197	2260
1977	19,925	19,017	8,42	31,33	4,72	4,50	6,28	5,99	308068	138	78	4,099	2226
1978	22,884	21,519	8,29	33,65	5,12	4,81	6,78	6,38	329303	146	160	7,379	2263
1979	27,227	27,028	8,7	36,48	5,51	5,47	7,38	7,33	340696	134	351	14,896	2542
1980	33,728	33,950	11,04	41,76	6,55	6,60	9,05	9,11	360517	143	0	0,000	2529
1981	36,663	37,119	12,35	44,73	7,23	7,28	8,63	8,69	349864	125	4	0,140	2808
1982	36,408	37,141	11,76	43,55	6,94	7,08	8,27	8,44	330495	117	233	7,922	2830
1983	38,954	38,644	11,6	42,6	7,04	6,98	8,39	8,32	328648	92	15	0,471	3573
1984	43,825	41,674	12,1	43,6	7,17	6,82	8,53	8,11	345079	82	4	0,117	4214
1985	46,665	45,238	11,7	44,5	7,19	6,97	8,52	8,26	355113	79	197	5,157	4467
1986	50,525	49,202	10,8	76,7	6,52	6,35	8,32	8,10	421686	95	8	0,191	4427
1987	56,986	54,517	11,1	77,5	6,92	6,63	8,78	8,41	457349	106	231	5,160	4320
1988	63,749	60,313	11,9	78,6	7,44	7,04	9,42	8,91	480553	96	285	6,269	5014
1989	69,316	67,505	12,4	67,2	7,84	7,63	10,13	9,86	506728	90	131	2,887	5652
1990	76,142	78,054	12,76	51,5	8,68	8,90	11,31	11,59	545809	128	39	0,838	4275
1991	75,158	76,943	12,74	53,87	7,98	8,16	10,51	10,75	533565	131	62	1,371	4064
1992	78,140	80,585	12,5	53,2	7,94	8,19	10,38	10,71	540413	128	33	0,695	4233
1993	84,559	83,121	13,1	53,1	8,31	8,10	10,97	10,68	537111	124	1	0,021	4320
1994	88,313	85,600	12,5	51,9	8,28	8,06	11,26	10,96	539759	120	239	4,519	4485
1995	94,578	88,718	12,9	58,2	8,64	8,08	11,72	10,96	546987	119	166	3,030	4609
1996	101,938	95,729	13	64,3	9,01	8,46	12,21	11,47	564425	117	342	5,884	4806
1997	109,568	100,982	13,1	58,3	9,22	8,49	12,73	11,72	586509	113	3	0,050	5194
1998	113,465	104,138	13,1	58,8	9,28	8,52	12,98	11,91	621064	117	1	0,016	5301
1999	119,038	110,638	12,9	59,09	9,16	8,50	12,96	12,03	646410	119	12	0,189	5445
2000	130,248	123,234	13,52	56,72	9,79	9,26	13,62	12,88	679967	120	92	1,382	5647
2001	115,227	125,546	12,42	59,67	8,70	9,48	12,38	13,49	671969	129	531	8,536	5213
2002	107,125	115,690	11,46	54,35	8,21	8,87	12,00	12,96	601356	117	0	0,000	5135
2003	117,768	119,861	11,78	56,12	8,66	8,81	13,18	13,41	569778	127	22	0,340	4478
2004	134,660	136,150	11,7	55,8	8,84	8,94	13,90	14,05	569498	126	13	0,186	4507
2005	151,544	151,097	12	72,23	9,32	9,29	15,10	15,06	562467	130	22	0,298	4331
2006	165,532	157,892	12,69	76,99	10,06	9,59	16,45	15,69	545695	126	50	0,672	4339
2007	174,696	165,353	12,91	83,09	10,32	9,77	16,84	15,94	560997	82	0	0,000	6808
2008	186,087	189,437	13,75	105,18	10,94	11,14	18,24	18,57	556920	88	0	0,000	6325
2009	155,050	152,719	11,87	91,65	9,54	9,37	16,20	15,91	536200	85	50	0,710	6278
2010	174,676	164,160	13,13	102,648	10,78	10,13	17,96	16,88	514200	77	0	0,000	6695

Tabla 5.2-12 Earnings, Financial, Employment and Safety. American Flag Airlines (1960-2010).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Una vez se ha presentado el histórico de indicadores, el siguiente paso es elegir de entre todos ellos los que se van a utilizar para el objeto de esta tesis, así como calcular o definir aquellos que no aparecen directamente en las bases de datos utilizadas para la configuración de estas tablas.

En el capítulo 2, epígrafe 2.5, se describen los KPIs utilizados por las aerolíneas, que con los valores históricos recopilados, formaría la tabla 5.2-13, que reúne todos los valores históricos de los indicadores relevantes en este estudio.

year	Passengers Enplaned		Revenue Passenger Miles (RPM)		Available Seat Miles (ASM)		Pax Load Factor (%)	*Average Trip Segment (miles)	Revenue Aircraft Miles		Revenue Aircraft Hours		Operating Revenues $B**	Operating Expenses $B**	Pax Yield Scheduled (¢/RPM)	Cargo Yield (¢/RCTM)	RASM (¢)		CASM (¢)		Employment		Fatalities		Gallons of fuel Consumed		Annual Fuel
	(000)	per unit	(000)	per unit	(000)	per unit			(000)	per unit	total	per unit					scheduled	total	scheduled	total	total	per unit	total	% (E-5)	(millions)	per unit	
1938	1.486	4.313	617.830	1.790.811	969.790	2.810.986	63,71	415,177	78.197	226.659			0,031	0,040	4,025	178,36	2,564	3,177	3,353	4,153	13.309	39	32	215	45	131.334	345
1939	2.045	6.033	634.818	2.462.591	1.208.021	3.563.488	69,11	408,220	90.976	268.366			0,043	0,054	4,118	177,84	2,846	3,526	3,630	4,497	15.923	47	19	93	56	165.008	339
1940	3.185	7.063	1.265.164	2.805.242	1.993.287	4.419.705	63,47	397,191	119.517	265.005			0,076	0,076	4,838	126,71	3,071	3,806	3,070	3,805	22.056	49	35	110	75	165.266	451
1941	4.381	9.441	1.676.949	3.614.115	2.589.780	5.581.423	64,75	382,812	148.212	319.421			0,102	0,094	4,924	110,79	3,188	3,953	2,929	3,631	26.458	57	37	84	93	200.344	464
1942	3.944	15.111	1.750.229	6.705.857	2.299.330	8.809.692	76,12	443,772	130.493	499.974			0,117	0,112	5,400	67,67	4,111	5,097	3,934	4,878	39.561	152	55	139	86	328.287	261
1943	3.892	13.753	1.926.606	6.807.793	2.175.661	7.687.848	88,55	495,017	123.661	436.964			0,131	0,118	5,470	44,19	4,844	6,006	4,373	5,423	39.974	141	32	82	79	277.985	283
1944	5.191	14.145	2.616.489	7.129.397	2.942.025	8.016.424	88,93	504,021	166.512	453.712			0,172	0,158	5,288	39,81	4,702	5,834	4,317	5,356	42.503	116	65	125	105	286.257	367
1945	7.164	13.829	3.963.016	7.650.610	4.721.645	9.115.145	83,93	553,221	241.181	465.601			0,255	0,211	5,182	32,06	4,390	5,400	3,600	4,470	67.796	131	93	130	160	308.708	518
1946	13.506	17.032	7.197.138	9.075.836	9.044.100	11.404.918	79,58	532,883	368.954	465.263			0,453	0,462	5,057	41,75	4,025	5,012	4,103	5,109	96.499	122	115	85	291	367.149	793
1947	14.602	15.195	8.440.031	8.782.550	12.076.700	12.566.805	69,89	578,007	417.934	434.895			0,554	0,595	5,259	28,89	3,675	4,584	3,953	4,931	87.865	91	219	150	397	413.028	961
1948	14.541	15.100	7.852.177	8.153.670	13.272.500	13.782.451	59,16	540,003	436.300	453.063			0,607	0,667	5,190	40,59	3,662	4,572	4,025	5,025	84.608	86	103	71	456	473.341	963
1949	16.601	16.974	8.821.269	9.019.702	14.742.400	15.074.029	59,84	531,370	456.100	466.360			0,670	0,715	5,082	38,60	3,639	4,546	3,881	4,847	78.346	80	93	56	507	518.717	978
1950	19.099	19.195	9.972.400	10.022.513	16.081.000	16.161.609	62,01	522,143	461.900	464.221			0,746	0,743	5,988	53,98	3,713	4,639	3,698	4,620	82.786	83	144	75	572	575.122	995
1951	24.685	24.344	12.810.600	12.633.728	19.005.700	18.743.294	67,40	518,963	503.000	496.055			0,945	0,865	5,893	57,12	3,972	4,970	3,539	4,552	95.753	94	173	70	657	648.327	1.014
1952	27.372	22.236	15.140.700	12.299.513	22.916.900	18.616.491	66,07	553,146	561.400	456.052			1,108	1,027	5,837	49,28	3,856	4,834	3,574	4,480	104.072	85	140	51	770	625.856	1.231
1953	31.404	24.534	17.678.700	13.811.484	27.577.200	21.544.688	64,11	562,944	627.300	490.078			1,266	1,166	5,704	43,81	3,656	4,590	3,369	4,229	109.392	85	88	28	871	680.081	1.280
1954	35.407	26.169	19.978.000	14.765.706	31.908.600	23.583.592	62,61	564,239	612.700	452.846			1,413	1,276	5,627	40,75	3,523	4,429	3,182	4,000	109.541	81	16	5	950	702.143	1.353
1955	41.404	31.131	23.628.000	17.765.414	37.013.400	27.829.624	63,84	570,670	694.700	522.331			1,659	1,501	5,573	36,28	3,557	4,463	3,218	4,055	122.203	92	158	36	1.000	751.880	1.330
1956	45.628	26.793	26.756.300	15.711.274	41.825.700	24.560.012	63,97	586,401	768.100	451.028			1,876	1,763	5,549	34,05	3,550	4,486	3,336	4,215	131.503	77	152	33	1.500	880.799	1.703
1957	49.015	27.185	30.251.200	16.776.258	48.876.300	27.108.319	61,89	617,182	866.800	480.754			2,110	2,063	5,503	26,63	3,406	4,318	3,330	4,222	147.190	82	70	14	2.000	1.109.262	1.803
1958	48.754	26.030	30.410.300	16.236.145	50.752.600	27.096.957	59,92	623,750	866.100	462.413			2,219	2,136	5,751	26,59	3,445	4,372	3,318	4,210	147.150	79	124	25	2.500	1.334.757	1.873
1959	55.528	29.678	35.021.400	18.718.012	56.266.500	30.072.956	62,24	630,696	906.000	485.302			2,629	2,496	5,896	24,83	3,670	4,672	3,485	4,436	162.029	87	270	49	3.000	1.603.421	1.871
1960	54.582	29.632	37.539.547	20.379.776	62.500.771	33.930.929	60,06	687,764	875.420	475.255	3.315.205	1.800	2,885	2,807	6,140	25,30	3,688	4,616	3,568	4,492	166.235	90	307	56	4.000	2.171.553	1.842
1961	54.464	29.313	38.303.293	20.615.335	68.294.541	36.757.019	56,09	703,277	838.078	451.065	2.839.304	1.528	3,064	3,044	6,240	24,12	3,500	4,486	3,476	4,456	169.941	91	124	23	4.500	2.421.959	1.858
1962	58.111	32.088	41.965.617	23.172.621	78.461.120	43.324.749	53,49	722,163	871.400	481.171	2.665.049	1.472	3,439	3,249	6,310	22,69	3,375	4,383	3,188	4,141	172.827	95	121	21	5.000	2.760.906	1.811
1963	66.259	36.567	48.289.186	26.649.661	90.191.512	49.774.565	53,54	728,794	944.856	521.444	2.743.084	1.514	3,759	3,479	6,090	22,86	3,251	4,168	3,016	3,858	178.887	99	121	18	5.500	3.035.320	1.812
1964	75.344	40.881	56.010.761	30.391.080	101.033.781	54.820.263	55,44	743,400	1.022.794	554.951	2.840.170	1.541	4,251	3,761	5,950	21,95	3,299	4,208	2,934	3,742	191.818	104	159	21	6.000	3.255.562	1.843
1965	87.524	46.679	65.776.016	35.080.542	118.263.984	63.074.125	55,62	751,520	1.174.135	626.205	3.091.292	1.649	4,958	4,286	5,870	20,58	3,265	4,192	2,822	3,624	210.795	112	226	26	6.500	3.466.667	1.875
1966	98.695	49.323	76.101.208	38.031.586	130.350.366	65.142.612	58,38	771,075	1.281.440	640.400	3.200.546	1.599	5,745	4,970	5,670	20,09	3,310	4,407	2,863	3,812	244.028	122	59	6	7.000	3.498.251	2.001
1967	119.874	54.837	94.249.455	43.115.030	165.260.353	75.599.430	57,03	786,238	1.608.984	736.040	3.862.121	1.767	6,865	6,157	5,490	19,79	3,131	4,154	2,808	3,725	276.023	126	226	19	7.500	3.430.924	2.186
1968	135.217	52.614	108.062.476	42.047.656	203.439.641	79.159.393	53,12	799,178	1.894.596	737.197	4.455.590	1.734	7,753	7,248	5,460	19,51	2,900	3,811	2,711	3,563	300.451	117	305	23	8.000	3.112.840	2.570
1969	143.375	59.665	118.360.400	49.255.264	234.475.657	97.576.303	50,48	825,524	2.106.661	876.680	4.826.867	2.009	8,792	8,401	5,680	19,99	2,867	3,750	2,740	3,584	311.922	130	132	9	9.300	3.870.162	2.403
1970	139.126	57.466	123.462.955	50.996.677	246.421.922	101.785.181	50,10	887,418	2.118.598	875.092	4.776.277	1.973	9,290	9,247	5,790	20,94	2,901	3,770	2,887	3,752	297.374	123	2	0	9.500	3.923.998	2.421
1971	141.825	59.716	126.975.407	53.463.329	260.829.657	109.823.013	48,68	895,296	2.078.158	875.014	4.682.715	1.972	10,046	9,717	6,050	21,42	2,945	3,852	2,849	3,725	292.185	123	174	12	10.000	4.210.526	2.375
1972	155.487	65.249	142.458.266	60.698.026	267.414.990	113.939.067	53,27	916,207	2.061.628	878.410	4.652.143	1.982	11,163	10,579	6,080	21,49	3,239	4,174	3,069	3,956	301.127	128	160	10	10.500	4.473.796	2.347
1973	163.669	69.242	150.992.153	63.871.469	288.344.569	121.973.168	52,37	922,433	2.104.908	890.401	4.765.661	2.016	12,419	11,634	6,340	21,92	3,320	4,307	3,163	4,104	311.499	132	197	12	10.700	4.526.227	2.364
1974	165.724	74.183	150.802.460	67.503.339	274.123.066	122.705.043	55,01	909,962	1.946.661	871.388	4.439.305	1.987	14,699	13,974	7,290	24,67	4,010	5,362	3,812	5,097	307.316	138	420	25	10.600	4.744.852	2.234
1975	163.744	72.453	150.527.624	66.605.143	279.579.563	123.707.771	53,84	919,286	1.904.245	842.586	4.340.961	1.921	15,356	15,228	7,590	27,17	4,087	5,493	4,052	5,447	289.926	128	113	7	10.500	4.646.018	2.260
1976	177.490	78.535	165.141.254	73.071.351	297.112.624	131.465.763	55,56	930,426	1.968.606	871.065	4.480.373	1.982	17,502	16,779	7,970	29,22	4,430	5,891	4,248	5,649	303.006	134	39	2	10.400	4.601.770	2.260
1977	190.274	85.478	177.885.842	79.912.777	317.514.979	142.639.254	56,02	934,893	2.051.154	921.453	4.649.221	2.089	19,925	19,017	8,420	31,33	4,717	6,275	4,502	5,989	308.068	138	78	4	10.300	4.627.134	2.226
1978	216.830	95.815	208.254.317	92.025.770	337.390.119	149.089.757	61,73	960,450	2.114.038	934.175	4.781.598	2.113	22,884	21,519	8,290	33,65	5,117	6,783	4,812	6,378	329.303	146	160	7	10.188	4.502.004	2.263
1979	235.626	92.693	233.657.887	91.918.917	369.047.858	145.180.117	63,31	991,647	2.246.170	883.623	5.063.013	1.992	27,227	27,028	8,700	36,48	5,508	7,378	5,471	7,327	340.696	134	351	15	10.694	4.207.050	2.542
1980	213.856	84.561	221.206.069	87.467.801	372.721.427	147.378.975	59,35	1.034,369	2.193.096	867.179	4.915.690	1.944	33,728	33,950	11,040	41,76	6,552	9,049	6,595	9,109	360.517	143	0	0	10.267	4.059.525	2.529
1981	285.976	101.843	248.887.801	88.635.257	424.897.230	151.316.677	58,58	870,310	2.703.219	962.685	6.571.288	2.340	36,663	37,119	12,350	44,73	7,234	8,629	7,284	8,688	349.864	125	4	0	10.588	3.770.573	2.808
1982	294.102	103.923	259.643.870	91.746.951	440.119.206	155.519.154	58,99	882,836	2.687.689	949.713	6.408.842	2.265	36,408	37,141	11,760	43,55	6,938	8,272	7,077	8,439	330.495	117	233	8	10.400	3.674.982	2.830
1983	318.638	89.179	281.829.148	78.877.455	464.537.979	130.013.428	60,67	884,481	2.808.568	786.053	6.649.009	1.861	38,954	38,644	11,600	42,60	7,036	8,386	6,981	8,319	328.648	92	15	0	10.671	2.986.528	3.573
1984	343.264	81.458	304.458.727	72.249.342	514.010.029	121.976.751	59,23	886,952	3.113.601	738.871	7.365.435	1.748	43,825	41,674	12,100	43,60	7,167	8,526	6,815	8,108	345.079	82	4	0	11.912	2.826.855	4.214
1965	382.022	85.521	336.403.021	75.306.489	547.788.432	122.630.050	61,41	880,585	3.319.955	743.218	7.947.435	1.779	46,565	45,238	11,700	44,50	7,185	8,519	6,965	8,258	355.113	79	197	5	12.603	2.821.342	4.467
1986	418.946	94.634	366.545.855	82.797.799	607.435.847	137.211.621	60,34	874,924	3.724.581	841.333	8.931.642	2.018	50,525	49,202	10,800	76,70	6,517	8,318	6,346	8,100	421.686	95	8	0	13.682	3.090.654	4.427
1987	447.675	103.629	404.471.484	93.627.658	648.720.938	150.166.884	62,35	903,488	3.988.105	923.172	9.468.067	2.192	56,986	54,517	11,100	77,50	6,921	8,784	6,626	8,411	457.349	106	231	5	14.480	3.351.957	4.320
1988	454.614	90.669	423.301.559	84.423.925	676.802.327	134.982.514	62,54	931,123	4.140.911	825.870	9.693.308	1.973	63,749	60,313	11,900	78,60	7,443	9,419	7,042	8,911	480.553	96	285	6	15.181	3.027.668	5.014
1989	453.692	80.271	432.714.309	76.559.503	684.375.676	121.085.611	63,23	953,762	4.192.722	741.812	10.045.647	1.777	69,316	67,505	12,400	67,20	7,840	10,128	7,632	9,859	506.728	90	131	3	15.462	2.735.746	5.652
1990	465.560	108.903	457.926.286	107.117.260	673.314.893	157.500.560	68,01	983,603	4.490.793	1.050.478	10.733.740	2.511	76,142	78,054	12,760	51,50	8,678	11,309	8,896	11,593	545.809	128	39	1	16.150	3.777.707	4.275
1991	452.210	111.272	447.795.703	110.185.951	714.974.175	175.928.685	62,63	990,238	4.414.067	1.086.143	10.570.992	2.601	75,158	76,943	12,740	53,67	7,979	10,512	8,157	10,747	533.565	131	62	1	15.248	3.751.937	4.064
1992	475.108	112.239	478.453.708	113.029.461	752.772.435	177.834.263	63,56	1.007,042	4.769.468	1.126.735	11.110.460	2.625	78,140	80,585	12,500	53,20	7,945	10,380	8,193	10,705	540.413	128	33	1	15.677	3.703.539	4.233
1993	487.249	112.789	489.137.135	113.226.189	770.830.560	178.433.000	63,46	1.003,875	4.898.012	1.133.799	11.540.565	2.671	84,559	83,121	13,100	53,10	8,313	10,970	8,096	10,684	537.111	124	1	0	16.072	3.720.319	4.320
1994	528.848	117.915	519.381.668	115.804.167	784.336.934	174.880.030	66,22	982,100	5.102.838	1.137.757	11.962.989	2.667	88,313	85,600	12,500	51,90	8,277	11,260	8,061	10,965	539.759	120	239	5	16.826	3.751.607	4.485
1995	547.773	118.849	540.656.211	117.304.450	807.077.639	175.109.098	66,99	987,008	5.477.399	1.188.414	12.661.069	2.747	94,578	88,718	12,900	58,20	8,642	11,719	8,080	10,957	546.967	119	166	3	17.323	3.758.545	4.609
1996	581.201	120.932	578.408.509	120.351.334	834.688.294	173.676.299	69,30	995,195	5.625.945	1.170.609	13.191.369	2.745	101,938	95,729	13,000	64,30	9,009	12,213	8,460	11,469	564.425	117	342	6	17.845	3.713.150	4.806
1997	599.100	115.345	605.574.000	116.591.067	860.803.000	165.730.266	70,35	1.010,806	5.686.000	1.094.725	13.562.000	2.611	109,568	100,982	13,100	58,30	9,216	12,729	8,489	11,724	586.509	113	3	0	18.500	3.561.802	5.194
1998	614.200	115.865	619.456.000	116.856.442	874.170.000	164.906.621	70,86	1.008,557	5.840.000	1.101.679	13.953.000	2.632	113,465	104,138	13,100	58,60	9,283	12,980	8,520	11,913	621.064	117	1	0	19.500	3.678.551	5.301
1999	636.000	116.804	652.047.000	119.751.515	918.419.000	168.671.993	71,00	1.025,231	6.167.000	1.132.599	14.698.000	2.699	119,038	110,636	12,900	59,09	9,159	12,961	8,501	12,030	646.410	119	12	0	20.061	3.684.298	5.445
2000	665.500	117.850	692.505.000	122.632.371	956.502.000	169.382.327	72,40	1.040,579	6.560.000	1.161.679	15.623.000	2.767	130,248	123,234	13,520	56,72	9,788	13,617	9,261	12,884	679.967	120	92	1	20.974	3.714.185	5.647
2001	622.100	119.336	651.700.000	125.014.387	930.511.000	178.498.178	70,04	1.047,581	6.514.000	1.249.568	15.415.000	2.957	115,227	125,546	12,420	59,67	8,699	12,383	9,478	13,492	671.969	129	531	9	20.120	3.859.582	5.213
2002	611.700	119.124	639.588.000	124.554.625	892.745.000	173.854.917	71,64	1.045,591	6.525.000	1.271.276	15.651.000	3.048	107,125	115,690	11,460	54,35	8,210	12,000	8,867	12,959	601.356	117	0	0	18.154	3.535.346	5.135
2003	646.300	144.328	656.909.000	146.696.963	893.824.000	199.603.394	73,49	1.016,415	7.069.000	1.578.607	17.208.000	3.843	117,768	119,861	11,760	56,12	8,658	13,176	8,811	13,410	569.778	127	22	0	17.806	3.976.329	4.478
2004	697.800	154.826	731.927.000	162.397.826	968.977.000	214.993.787	75,54	1.048,907	7.610.000	1.688.485	18.335.000	4.068	134,660	136,150	11,700	55,80	8,838	13,897	8,936	14,051	569.498	126	13	0	19.762	4.389.172	4.507
2005	738.600	170.538	779.004.000	179.867.005	1.003.312.000	231.658.278	77,64	1.054,703	7.896.000	1.823.136	19.086.000	4.407	151,544	151,097	12,000	72,23	9,317	15,104	9,290	15,060	562.467	130	22	0	20.485	4.729.855	4.331
2006	744.500	171.583	797.422.000	163.780.134	1.006.390.000	231.940.539	79,24	1.071,084	7.912.000	1.823.462	19.067.000	4.394	165,532	157,892	12,690	76,99	10,055	16,448	9,591	15,689	545.695	126	50	1	19.976	4.604.287	4.339
2007	769.200	112.985	829.032.000	121.773.208	1.037.116.000	152.337.838	79,94	1.077,785	8.109.000	1.191.099	19.406.000	2.850	174,696	165,353	12,910	83,09	10,320	16,844	9,768	15,944	560.997	82	0	0	20.131	2.956.962	6.808
2008	741.400	117.217	811.440.000	128.290.909	1.020.147.000	161.288.063	79,54	1.094,470	7.865.000	1.243.478	18.800.000	2.972	186,087	189,437	13,750	105,18	10,937	18,241	11,136	18,672	556.920	88	0	0	19.378	3.063.715	6.325
2009	703.944	112.129	769.485.000	122.568.493	957.198.000	152.468.621	80,39	1.093,105	7.317.000	1.165.499	17.490.000	2.786	155,050	152,719	11,870	91,65	9,542	16,198	9,374	15,912	536.200	85	50	1	17.711	2.821.121	6.278
2010	720.500	107.618	798.008.000	119.194.623	972.562.000	145.266.916	82,10	1.108,000	7.415.000	1.107.543	17.509.000	2.615	174,676	164,160	13,130	102,65	10,776	17,960	10,127	16,879	514.200	77	0	0	18.400	2.748.320	6.695

* On-Flight Trip Length (miles)

** Billions dolars: 1000 millones de dólares=Millardo

Tabla 5.2-13 Selección de KPIs y valores. (1938-2010).

Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Como se puede observar se recogen los valores desde 1938 hasta 2010 de los indicadores más utilizados por las aerolíneas de todo el mundo, aunque como se ha dicho anteriormente, en la parte de creación del modelo sólo se trabajará con los valores entre 1960 y 2010 de algunos de estos indicadores, especialmente relevantes como ejemplo de la validez del modelo.

De esta manera quedaría definido el objetivo de este epígrafe que era tabular los históricos de los indicadores a partir de las bases de datos y en el formato de los KPIs que son utilizados habitualmente por ATA, IATA y las aerolíneas de todo el mundo.

5.3. Tipificación de la variable: avión tipo anual.

A la hora de crear el modelo multivariante, hay que establecer una relación real entre los parámetros caracterizadores de las aeronaves (longitud total, ancho, ...) y los valores de los KPIs alcanzados por esas aeronaves (RPM, ASM, …), esta relación real perdería generalidad si se utilizara el rendimiento particular de un modelo de aeronave en una determinada aerolínea, por lo que se ha ideado para esta tesis una solución, que vincula KPIs a parámetros de aeronave sin restar generalidad. A esta solución se la ha llamado **tipificación de la variable**, entendiendo por tal, el hecho de encontrar un avión tipo para cada periodo estudiado, de manera que represente virtualmente los resultados de explotación conseguidos por las aerolíneas del estudio durante dicho periodo.

Para tipificar la variable aeronave, se ha utilizado un procedimiento relativamente simple, pero que consigue el objetivo sin restar generalidad ni exactitud al proceso de estudio.

Se parte de las siguientes premisas:

1. Los rendimientos de explotación, los han conseguido las aerolíneas con unas flotas determinadas para cada uno de los periodos.
2. El tipo de avión (características técnicas y dimensionales) condiciona los resultados de explotación, es decir los KPIs de estudio.
3. El número de aviones de un determinado tipo es muy relevante para los rendimientos de explotación generales, ya que a mayor cantidad de un modelo de avión, más se parecen los resultados generales a los individuales de dicho modelo.
4. Los resultados de explotación generales, si se promediaran entre el total de la flota de un año, se corresponderían a un avión que no es ninguno de los que componen dicha flota, ya que sería una mezcla de todos ellos.
5. Si se calcularan los parámetros del avión tipo como una media ponderada por la presencia en la flota de los diferentes modelos, este avión promedio ponderado, representaría a la flota global y por lo tanto, estaría vinculado a los resultados de explotación de la misma.
6. Si la flota global de cada periodo se compusiera de igual número de aviones, pero ahora, todos idénticos y con las características del avión tipo, los resultados de explotación serían los mismos que los obtenidos realmente en cada periodo.

Estas premisas, parecen coherentes ya que los resultados globales son en sí mismos un resumen, una agregación de los resultados individuales. De forma que si se parte del hecho de que los resultados individuales están vinculados con un avión, los resultados globales, lo estarán con el conjunto de aviones.

A modo de ejemplo, se puede ver que existen parámetros en los que es inequívoca esta relación, por ejemplo:

$$ASM_{año} = \sum_{j=1}^{n} ASM_j = x_1 \cdot ASM_1 + \cdots + x_i \cdot ASM_i + \cdots + x_k \cdot ASM_k \qquad (1)$$

$$ASM_i = PaxMax_i \cdot \overline{TMF}_{año} \cdot x_i \qquad (2)$$

Siendo:

- ASM_j= Available Seat Miles de un avión j de los n que componen la flota del periodo estudiado.
- x_i = número de aeronaves del modelo i de los k modelos que componen la flota del periodo estudiado.
- ASM_i= Available Seat Miles medio de un avión modelo i de los k modelos que componen la flota del periodo estudiado.
- $PaxMax_i$ = Número máximo de pasajeros transportados en un avión modelo i de los k modelos que componen la flota del periodo estudiado.
- $\overline{TMF}_{año}$ = Número total de millas voladas de media por un avión en el año de referencia.

De manera que el total de ASMs de un periodo para toda la flota, formada por n aviones, sería la suma de los ASMs individuales de cada avión que forma parte de la muestra (ASM_j), y a su vez, si estos ASMs se agrupan primero en los k modelos de avión (ASM_i) utilizados en ese año, se tendría una suma en la que cada sumando sería el ASM_i medio por tipo de avión y multiplicado por el número de aviones del modelo (x_i) que hubiera en ese periodo en la flota global.

Como este valor (ASM_i) estaría en función del pasaje máximo que cabe en el modelo de avión, se puede colegir, que se obtendría de igual modo a partir de la media ponderada de pasajes máximos de los aviones que componen la flota. De manera que ese dato de ASMs de la flota global estaría vinculado a un avión tipo con un parámetro caracterizador como el de número máximo de pasajeros transportados de valor:

$$\overline{PaxMax}_{año} = \frac{\sum_i^k PaxMax_i \cdot x_i}{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}} \qquad (3)$$

En resumen el pasaje máximo tipo en un año, sería la media ponderada de los pasajes máximos de los diferentes aviones que componen la flota y el factor de ponderación será el número de aviones de cada uno de los modelos que integran la flota ese año.

Siguiendo con el ejemplo:

En 1946, la flota ATA estaba compuesta por 533 aviones DC3, con un capacidad máxima de 32 pasajeros, 200 aviones DC4, con capacidad para 86 pasajeros como máximo y 35 aviones Constellation, con una capacidad máxima de 44 pasajeros. En total 768 aviones. Con estos datos y la expresión (3), el avión tipo del año 1946, tendría una capacidad de:

$$\overline{PaxMax}_{1946} = \frac{533 \times 32 + 200 \times 86 + 35 \times 44}{533 + 200 + 35} = 46{,}61\ pasajeros$$

Es evidente que el avión tipo resultante, no es ninguno de los modelos reales. La capacidad máxima de pasajeros está entre los valores de los diferentes modelos de avión y como era de esperar se aproxima a los modelos más presentes en la flota en ese año.

Entre las hipótesis o premisas que se han expuesto estaba la número 6, que decía que a efectos del estudio, y por lo tanto de los KPIs, era equivalente trabajar con el número de aviones por modelo real a hacerlo con el total de la flota en ese periodo (768 aviones) todos ellos con el parámetro correspondiente del avión tipo. Para corroborarlo, se puede ver que de las expresiones (1) y (2), para luego sustituir al final la expresión (3), se tiene:

$$ASM_{1946} = \sum_{j=1}^{768} ASM_j = x_{DC3} \cdot ASM_{DC3} + x_{DC4} \cdot ASM_{DC4} + x_{CT} \cdot ASM_{CT} =$$

$$= x_{DC3} \cdot PaxMax_{DC3} \cdot \overline{TMF}_{1946} + x_{DC4} \cdot PaxMax_{DC4} \cdot \overline{TMF}_{1946} + x_{CT} \cdot PaxMax_{CT} \cdot \overline{TMF}_{1946} =$$

$$= \overline{TMF}_{1946}(x_{DC3} \cdot PaxMax_{DC3} + x_{DC4} \cdot PaxMax_{DC4} + x_{CT} \cdot PaxMax_{CT}) =$$

$$= \overline{TMF}_{1946} \cdot \frac{(x_{DC3} \cdot PaxMax_{DC3} + x_{DC4} \cdot PaxMax_{DC4} + x_{CT} \cdot PaxMax_{CT})}{x_{DC3} + x_{DC4} + x_{CT}} \cdot (x_{DC3} + x_{DC4} + x_{CT}) =$$

$$= \overline{TMF}_{1946} \cdot \overline{PaxMax}_{1946} \cdot (x_{DC3} + x_{DC4} + x_{CT}) =$$

$$= \overline{TMF}_{1946} \cdot \overline{PaxMax}_{1946} \cdot X_{1946}$$

desarrollo matemático que evidencia que partiendo del *valor agregado de* ASM_{1946}, se puede llegar a un *parámetro de avión tipo* $\overline{PaxMax}_{1946}$ multiplicado por el número de aviones totales X_{1946} como si fueran idénticos entre sí e iguales al avión tipo anual tal y como se establece en la premisa número 6.

Esta corroboración, sólo pretende ser un ejemplo para comprender mejor el principio de tipificación de la variable que se ha propuesto, en ningún caso garantiza que no existan excepciones. Son las seis premisas o hipótesis las que se deben cumplir para que este proceso de tipificación sea válido. Si alguna de ellas no se cumple, no se puede asegurar la validez de este proceso y por ende del modelo que se pretende obtener.

Por lo tanto, el proceso para hallar el avión tipo anual consistiría en ir calculando cada uno de los parámetros tipo, como una media ponderada de los parámetros equivalentes de los distintos modelos de avión que componen la flota de ese año y el factor de ponderación será la cantidad de aviones de ese modelo que hubo ese año concreto.

Realizando todos estos cálculos se obtuvo la tabla 5.3-1, de aviones tipo anuales desde 1938 hasta 2010 con los parámetros que los caracterizan al completo, simplificando al periodo 1960-2010 y a los diez parámetros seleccionados finalmente como variables caracterizadoras en la tabla 5.3-2, es decir esta es la tabla utilizada en el modelo de estudio.

año	TOTAL		FUSELAJE		ALA		TREN DE ATERRIZAJE		MOTORES			PASAJEROS		CREW	ALCANCE	Mmo	Vmáx	Vcru	Techo	MTOW (t)	MLW(t) aterrizaje	Max Fuel Capacity (l)	Max Payload (t)	OEW (t) al vacio
	Longitud Total (m)	Altura Total (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Envergadura (m)	Superficie Alar (m^2)	Wheelbase (Dist. entre	Wheeltrack (via de la	Tipo	Nº	Potencia (kN)	configur. típica	Nº máx (1class)	Pilots,co-pilots &	km	*máx*	*km/h*	*km/h*	*m*					
1938	19,70	5,16	2,43	19,70	29,00	91,70	11,55	5,64	2	2	7,74	21	32	3	3420	0,32	360	310	7000	11,80	11,08	3045	3,96	7,50
1939	19,70	5,16	2,43	19,70	29,00	91,70	11,55	5,64	2	2	7,74	21	32	3	3420	0,32	360	310	7000	11,80	11,08	3045	3,96	7,50
1940	19,70	5,16	2,43	19,70	29,00	91,70	11,55	5,64	2	2	7,74	21	32	3	3420	0,32	360	310	7000	11,80	11,08	3045	3,96	7,50
1941	19,70	5,16	2,43	19,70	29,00	91,70	11,55	5,64	2	2	7,74	21	32	3	3420	0,32	360	310	7000	11,80	11,08	3045	3,96	7,50
1942	19,70	5,16	2,43	19,70	29,00	91,70	11,55	5,64	2	2	7,74	21	32	3	3420	0,32	360	310	7000	11,80	11,08	3045	3,96	7,50
1943	19,70	5,16	2,43	19,70	29,00	91,70	11,55	5,64	2	2	7,74	21	32	3	3420	0,32	360	310	7000	11,80	11,08	3045	3,96	7,50
1944	19,70	5,16	2,43	19,70	29,00	91,70	11,55	5,64	2	2	7,74	21	32	3	3420	0,32	360	310	7000	11,80	11,08	3045	3,96	7,50
1945	19,70	5,16	2,43	19,70	29,00	91,70	11,55	5,64	2	2	7,74	21	32	3	3420	0,32	360	310	7000	11,80	11,08	3045	3,96	7,50
1946	22,45	6,08	2,65	22,45	31,16	105,95	10,65	6,26	2	3	7,85	27	47	4	4301	0,34	383	330	6976	18,85	17,05	6435	5,11	11,46
1947	22,51	6,10	2,65	22,51	31,11	105,59	10,71	6,24	2	3	7,85	27	47	4	4258	0,34	387	334	7009	19,09	17,14	6473	5,02	11,51
1948	23,07	6,29	2,68	23,07	31,38	107,20	10,60	6,37	2	3	7,92	29	49	4	4360	0,36	402	346	7119	20,85	18,56	7159	5,45	12,37
1949	23,97	6,73	2,71	23,97	31,68	108,43	10,21	6,68	2	3	8,08	32	51	4	4476	0,39	431	369	7387	23,53	20,82	8217	6,09	13,80
1950	24,19	6,77	2,70	24,19	31,84	109,66	10,18	6,76	2	3	8,13	31	51	4	4580	0,39	438	374	7433	24,40	21,62	8559	6,67	14,26
1951	24,49	6,87	2,72	24,49	32,07	111,17	10,09	6,84	2	3	8,19	32	52	4	4702	0,40	443	379	7449	25,36	22,45	8949	7,03	14,77
1952	24,98	7,12	2,75	24,98	32,15	111,10	9,93	7,04	2	3	8,49	35	55	4	4793	0,41	458	395	7548	26,90	23,67	9540	7,50	15,61
1953	24,37	6,97	2,77	24,37	31,68	107,21	10,11	6,68	2	3	8,14	35	55	4	4313	0,39	440	379	7449	24,17	21,08	8402	5,24	14,02
1954	25,18	7,34	2,79	25,18	32,14	107,75	9,87	6,88	2	3	8,44	38	58	4	4294	0,41	462	401	7536	26,23	22,84	9125	5,66	15,06
1955	25,22	7,35	2,79	25,22	32,15	107,80	9,89	6,89	2	3	8,45	38	58	4	4293	0,42	463	402	7541	26,36	22,93	9160	5,70	15,10
1956	26,77	7,61	2,80	26,77	33,20	115,64	10,08	7,55	2	3	9,20	41	63	4	5174	0,45	499	432	7624	32,68	28,14	12346	8,81	18,73
1957	27,58	7,74	2,81	27,58	33,66	118,50	10,30	7,79	2	3	9,48	43	67	4	5427	0,46	516	448	7666	35,60	30,35	13818	9,74	20,29
1958	27,93	7,78	2,84	27,93	33,88	120,34	10,41	7,85	2	3	9,57	44	69	4	5582	0,47	521	453	7652	36,88	31,25	14481	9,93	20,95
1959	28,20	7,84	2,84	28,18	33,92	120,93	10,62	7,83	2	3	10,55	47	71	4	5513	0,47	526	460	7682	38,10	31,96	15339	9,99	21,41
1960	29,31	8,07	2,88	29,24	34,44	127,49	11,06	7,81	2	3	13,49	51	78	4	5641	0,49	547	480	7829	43,25	35,48	18612	10,87	23,55
1961	29,82	8,17	2,88	29,72	34,66	130,14	11,31	7,80	2	3	14,92	53	81	4	5685	0,50	558	490	7897	45,72	37,14	20198	11,26	24,59
1962	30,16	8,30	2,89	30,05	34,72	130,92	11,41	7,84	2	3	15,88	56	83	4	5665	0,51	567	499	7961	47,17	38,10	21160	11,40	25,23
1963	30,28	8,33	2,89	30,15	34,74	131,48	11,47	7,81	2	3	16,51	57	84	4	5598	0,51	568	502	7994	47,70	38,43	21567	11,57	25,37
1964	31,73	8,58	2,96	31,19	34,68	134,93	12,07	7,63	2	3	21,95	65	93	4	5472	0,55	605	540	8325	51,60	41,65	23089	12,34	27,23
1965	33,13	8,87	3,04	32,13	34,43	137,99	12,76	7,27	2	3	28,48	72	102	4	5189	0,59	643	582	8720	55,68	44,83	24839	12,70	28,94
1966	35,67	9,20	3,17	33,96	34,36	143,64	14,00	6,96	2	3	38,21	84	117	3	5135	0,65	710	650	9229	62,55	50,50	27560	14,09	32,27
1967	38,66	9,61	3,35	36,10	34,06	148,45	15,53	6,46	1	3	50,49	100	136	3	4883	0,73	793	733	9879	70,31	56,80	30589	15,15	35,87
1968	41,93	10,28	3,55	38,53	33,81	154,02	17,16	5,87	1	3	68,12	120	158	3	4689	0,83	893	833	10748	80,54	64,98	34991	16,95	40,57
1969	42,73	10,47	3,62	39,21	33,88	156,26	17,55	5,76	1	3	73,37	125	165	3	4768	0,86	917	856	10989	83,60	67,40	36184	17,73	42,03
1970	44,68	10,99	3,79	41,13	35,41	177,75	18,23	5,98	1	3	84,59	144	187	3	5162	0,87	931	870	11219	100,41	79,70	45672	20,74	49,65
1971	45,08	11,14	3,86	41,51	35,80	183,77	18,35	6,09	1	3	88,56	150	194	3	5268	0,87	933	871	11275	105,18	83,32	48163	21,66	51,95
1972	45,35	11,33	3,92	41,75	36,15	188,70	18,43	6,23	1	3	92,04	153	199	3	5349	0,87	934	872	11294	108,53	85,89	49884	22,30	53,77
1973	45,53	11,41	3,96	41,85	36,22	190,51	18,51	6,29	1	3	94,14	155	202	3	5365	0,87	937	875	11326	109,86	87,10	50281	22,60	54,64
1974	45,48	11,43	3,98	41,73	36,12	189,97	18,50	6,31	1	3	95,14	155	203	3	5341	0,87	938	876	11341	109,52	87,06	49764	22,62	54,70
1975	45,42	11,41	3,99	41,63	36,04	189,24	18,50	6,32	1	3	95,02	154	202	3	5310	0,87	938	877	11327	108,74	86,57	49200	22,49	54,46
1976	45,53	11,42	4,00	41,70	36,05	189,69	18,56	6,31	1	3	95,70	155	203	3	5314	0,88	941	879	11352	109,24	87,02	49339	22,62	54,73
1977	45,25	11,36	3,99	41,35	35,72	186,13	18,44	6,30	1	3	95,47	153	201	3	5235	0,88	940	879	11351	106,90	85,60	47550	22,30	53,86
1978	45,46	11,38	4,01	41,50	35,74	187,04	18,53	6,29	1	3	96,43	155	203	3	5249	0,88	944	883	11390	107,68	86,31	47755	22,47	54,31
1979	45,65	11,49	4,02	41,80	36,03	189,63	18,55	6,32	1	3	97,35	156	205	3	5342	0,88	943	883	11405	109,45	87,38	48997	22,73	55,01
1980	45,60	11,51	4,04	41,69	35,96	189,46	18,51	6,35	1	3	99,11	157	207	3	5331	0,88	943	882	11425	109,70	87,87	48670	22,89	55,35
1981	45,34	11,51	4,04	41,52	35,88	187,91	18,41	6,34	1	3	99,73	157	206	3	5314	0,88	941	879	11421	109,07	87,41	48325	22,86	55,02
1982	44,90	11,49	4,03	41,17	35,69	184,70	18,24	6,33	1	3	100,47	157	204	3	5269	0,88	938	875	11412	107,41	86,26	47306	22,70	54,28
1983	44,70	11,38	4,01	40,91	35,38	181,30	18,18	6,29	1	3	99,81	155	201	3	5190	0,88	938	875	11405	105,18	84,85	45735	22,36	53,35
1984	44,62	11,40	4,02	40,84	35,34	180,76	18,13	6,30	1	3	100,88	156	202	3	5191	0,87	937	874	11423	105,06	84,89	45440	22,42	53,40
1985	44,41	11,44	4,02	40,74	35,30	179,22	18,03	6,30	1	3	102,05	156	201	3	5202	0,87	936	872	11434	104,22	84,29	44897	22,34	53,08
1986	44,04	11,42	3,99	40,47	35,10	175,66	17,88	6,27	1	3	102,32	154	199	3	5169	0,87	933	869	11436	102,04	82,73	43570	22,04	52,12
1987	43,66	11,47	3,98	40,23	35,02	173,29	17,69	6,24	1	3	102,81	154	198	3	5194	0,87	930	866	11469	100,91	81,84	42949	21,96	51,55
1988	43,31	11,43	3,97	39,94	34,81	170,21	17,56	6,22	1	3	103,26	153	196	3	5149	0,87	928	863	11470	99,22	80,71	41849	21,78	50,82
1989	44,22	11,48	3,96	40,92	35,29	171,73	18,18	6,22	1	3	105,89	159	202	3	5260	0,87	930	862	11546	101,08	82,25	42540	22,40	51,76
1990	44,18	11,51	3,95	40,98	35,33	170,93	18,18	6,23	1	3	107,56	160	202	3	5290	0,87	928	859	11578	101,07	82,31	42426	22,50	51,80
1991	44,11	11,60	3,95	41,06	35,42	170,05	18,16	6,26	1	2	109,93	161	204	2	5353	0,87	927	857	11633	101,07	82,37	42288	22,65	51,92
1992	44,05	11,68	3,95	41,17	35,52	169,49	18,10	6,30	1	2	112,52	163	205	2	5420	0,86	925	855	11676	101,17	82,49	42230	22,73	52,09
1993	43,87	11,73	3,94	41,14	35,54	168,28	17,98	6,31	1	2	114,17	164	205	2	5465	0,86	923	852	11714	100,99	82,36	42082	22,79	52,00
1994	42,97	11,68	3,93	40,32	35,07	163,90	17,42	6,29	1	2	113,27	160	199	2	5386	0,86	919	849	11682	97,93	80,08	40434	22,13	50,58
1995	43,57	11,75	3,93	40,99	35,47	165,85	17,82	6,31	1	2	115,83	164	204	2	5495	0,86	920	848	11747	99,96	81,60	41481	22,68	51,55
1996	43,69	11,78	3,93	41,15	35,60	166,96	17,85	6,32	1	2	116,45	164	205	2	5538	0,86	920	849	11748	100,64	81,98	42008	22,73	51,83
1997	43,68	11,78	3,93	41,20	35,67	167,13	17,84	6,34	1	2	117,13	164	205	2	5563	0,86	919	848	11742	100,98	82,12	42378	22,75	51,92
1998	43,85	11,92	3,96	41,47	35,98	169,95	17,84	6,44	1	2	120,43	167	208	2	5666	0,86	919	848	11772	103,28	83,79	43688	23,15	53,10
1999	43,61	11,98	3,96	41,40	36,06	168,36	17,69	6,46	1	2	123,24	167	208	2	5766	0,85	916	846	11816	102,94	83,48	43479	23,10	52,97
2000	43,60	12,08	3,98	41,51	36,31	169,69	17,60	6,53	1	2	126,45	169	211	2	5887	0,85	914	844	11849	104,57	84,58	44411	23,33	53,77
2001	43,41	12,27	4,01	41,60	36,56	170,29	17,34	6,65	1	2	132,16	173	214	2	6045	0,85	910	841	11926	106,03	85,74	45054	23,66	54,63
2002	43,16	12,30	4,01	41,52	36,56	168,46	17,15	6,69	1	2	134,07	173	214	2	6099	0,85	907	839	11951	105,44	85,31	44673	23,53	54,40
2003	42,91	12,31	3,99	41,30	36,35	165,35	17,06	6,65	1	2	135,19	171	212	2	6051	0,85	906	838	11942	102,93	83,59	43047	23,24	53,42
2004	42,87	12,36	4,01	41,31	36,42	165,76	16,99	6,69	1	2	136,21	171	212	2	6082	0,85	906	838	11948	103,27	83,87	43190	23,26	53,65
2005	43,11	12,43	4,02	41,58	36,62	167,65	17,06	6,74	1	2	138,04	173	215	2	6140	0,85	906	838	11956	104,67	84,92	43921	23,48	54,36
2006	43,17	12,45	4,03	41,67	36,69	167,97	17,05	6,76	1	2	139,03	173	216	2	6168	0,85	905	838	11962	104,98	85,19	44017	23,51	54,55
2007	42,82	12,48	4,04	41,43	36,64	166,25	16,82	6,79	1	2	139,68	173	215	2	6201	0,84	903	837	11979	104,19	84,63	43512	23,34	54,24
2008	42,92	12,58	4,05	41,61	36,83	167,35	16,79	6,85	1	2	141,75	174	216	2	6286	0,84	902	837	12006	105,00	85,19	43953	23,43	54,72
2009	42,75	12,58	4,05	41,49	36,76	165,70	16,72	6,86	1	2	143,39	174	216	2	6305	0,84	901	836	12041	104,37	84,83	43435	23,40	54,55
2010	42,75	12,58	4,05	41,49	36,76	165,70	16,72	6,86	1	2	143,39	174	216	2	6305	0,84	901	836	12041	104,37	84,83	43435	23,40	54,55

Tabla 5.3-1 Variables/Parámetros caracterizadores al completo de los Aviones Tipo (1938-2010).
Fuente: Elaborado para esta tesis con datos de Jane's All the World's Aircraft. Aerospace Dictionary.[10]

Tabla 5.3-1 Variables/Parámetros caracterizadores de los Aviones tipo (1938-2010).

año	Lt (m)	A (m)	SupAl(m2)	NºM	PotUd(kN)	PaxMax	CREW	Rg(km)	Vcru	MTOW (t)
1960	29,31	2,88	127,49	3	13,49	78	4	5641	480	43,25
1961	29,82	2,88	130,14	3	14,92	81	4	5685	490	45,72
1962	30,16	2,89	130,92	3	15,88	83	4	5665	499	47,17
1963	30,28	2,89	131,48	3	16,51	84	4	5598	502	47,70
1964	31,73	2,96	134,93	3	21,95	93	4	5472	540	51,60
1965	33,13	3,04	137,99	3	28,48	102	4	5189	582	55,68
1966	35,67	3,17	143,64	3	38,21	117	3	5135	650	62,55
1967	38,66	3,35	148,45	3	50,49	136	3	4883	733	70,31
1968	41,93	3,55	154,02	3	68,12	158	3	4689	833	80,54
1969	42,73	3,62	156,26	3	73,37	165	3	4768	856	83,60
1970	44,68	3,79	177,75	3	84,59	187	3	5162	870	100,41
1971	45,08	3,86	183,77	3	88,56	194	3	5268	871	105,18
1972	45,35	3,92	188,70	3	92,04	199	3	5349	872	108,53
1973	45,53	3,96	190,51	3	94,14	202	3	5365	875	109,86
1974	45,48	3,98	189,97	3	95,14	203	3	5341	876	109,52
1975	45,42	3,99	189,24	3	95,02	202	3	5310	877	108,74
1976	45,53	4,00	189,69	3	95,70	203	3	5314	879	109,24
1977	45,25	3,99	186,13	3	95,47	201	3	5235	879	106,90
1978	45,46	4,01	187,04	3	96,43	203	3	5249	883	107,68
1979	45,65	4,02	189,63	3	97,35	205	3	5342	883	109,45
1980	45,60	4,04	189,46	3	99,11	207	3	5331	882	109,70
1981	45,34	4,04	187,91	3	99,73	206	3	5314	879	109,07
1982	44,90	4,03	184,70	3	100,47	204	3	5269	875	107,41
1983	44,70	4,01	181,30	3	99,81	201	3	5190	875	105,18
1984	44,62	4,02	180,76	3	100,88	202	3	5191	874	105,06
1985	44,41	4,02	179,22	3	102,05	201	3	5202	872	104,22
1986	44,04	3,99	175,66	3	102,32	199	3	5169	869	102,04
1987	43,66	3,98	173,29	3	102,81	198	3	5194	866	100,91
1988	43,31	3,97	170,21	3	103,26	196	3	5149	863	99,22
1989	44,22	3,96	171,73	3	105,89	202	3	5260	862	101,08
1990	44,18	3,95	170,93	3	107,56	202	3	5290	859	101,07
1991	44,11	3,95	170,05	2	109,93	204	2	5353	857	101,07
1992	44,05	3,95	169,49	2	112,52	205	2	5420	855	101,17
1993	43,87	3,94	168,28	2	114,17	205	2	5465	852	100,99
1994	42,97	3,93	163,90	2	113,27	199	2	5386	849	97,93
1995	43,57	3,93	165,85	2	115,83	204	2	5495	848	99,96
1996	43,69	3,93	166,96	2	116,45	205	2	5538	849	100,64
1997	43,68	3,93	167,13	2	117,13	205	2	5563	848	100,98
1998	43,85	3,96	169,95	2	120,43	208	2	5666	848	103,28
1999	43,61	3,96	168,36	2	123,24	208	2	5766	846	102,94
2000	43,60	3,98	169,69	2	126,45	211	2	5887	844	104,57
2001	43,41	4,01	170,29	2	132,16	214	2	6045	841	106,03
2002	43,16	4,01	168,46	2	134,07	214	2	6099	839	105,44
2003	42,91	3,99	165,35	2	135,19	212	2	6051	838	102,93
2004	42,87	4,01	165,76	2	136,21	212	2	6082	838	103,27
2005	43,11	4,02	167,65	2	138,04	215	2	6140	838	104,67
2006	43,17	4,03	167,97	2	139,03	216	2	6168	838	104,98
2007	42,82	4,04	166,25	2	139,68	215	2	6201	837	104,19
2008	42,92	4,05	167,35	2	141,75	216	2	6286	837	105,00
2009	42,75	4,05	165,70	2	143,39	216	2	6305	836	104,37
2010	43,84	4,16	169,83	2	149,30	223	2	6539	857	107,38

Tabla 5.3-2 Variables/Parámetros caracterizadores seleccionados de los Aviones tipo (1960-2010).
Fuente: Elaborado para esta tesis con datos de Jane's All the World's Aircraft. Aerospace Dictionary.[10]

Evidentemente ya se puede pasar al apartado en el que se van a vincular los rendimientos anuales publicados por las aerolíneas de la muestra con los parámetros de la tabla 5.3-2. En este apartado se evaluarán las correlaciones multivariantes entre los parámetros y cada uno de los indicadores de rendimiento.

5.4. Análisis correlacional entre Indicadores Clave de Rendimiento anuales de las aerolíneas y parámetros de la variable tipificada (avión tipo anual).

Hasta este punto de la tesis se ha ido preparando el escenario en el cual se va a construir el modelo que pretende vincular el universo de los parámetros o variables que caracterizan una aeronave con los resultados de explotación de las aerolíneas (KPIs) cuando utilizan dicha aeronave. Una vez preparado este escenario se va a exponer el método de correlación multivariante propuesto para esta parte de la tesis.

Es evidente que los KPIs dependen de las aeronaves en las que se midan y que son las características de estas aeronaves las que van a definir el entorno de posibilidades para estos indicadores. Es uno de los objetivos de esta tesis demostrar que algo que intuitivamente parece ser así, realmente lo es. Por ello, en el proceso de creación del modelo multivariante, se van a considerar como variables dependientes cada uno de los indicadores de rendimiento y variables independientes los diez parámetros caracterizadores seleccionados en el capítulo 4, apartado 4.3.

En principio, se van a estudiar por separado las correlaciones multivariantes de cada indicador con el conjunto de las diez variables caracterizadoras. Es decir, se obtendrá una ecuación por KPI en función de las 10 variables. Evidentemente, la correlación se deducirá estadísticamente desde los valores de las variables caracterizadoras de los aviones tipo calculados en la tabla 5.3-2 y que abarcan desde 1960 hasta 2010 en combinación con los correspondientes valores de los indicadores de rendimiento para cada uno de esos años obtenidos globalmente por la flota de la muestra[17].
Este Análisis de Regresión tiene como objetivo estudiar la relación entre todas las variables

[17] *La flota de la muestra sería la flota anual de la compañías pertenecientes a ATA en cada año de referencia y que vendría representada por un número idéntico de aviones tipo anual.*

y va a permitir expresar dicha relación en términos de una ecuación para cada KPI, que conectará una variable de respuesta Y, variable dependiente, con una o más variables explicativas, en este caso las 10 variables caracterizadoras seleccionadas: $X_1, X_2 \dots X_{10}$. Además hay que tener en cuenta que tanto las variables de respuesta (KPIs) como las explicativas (parámetros de los aviones) tomarán diferentes valores en los años de estudio.

$$Y_{año}^{j} = \begin{pmatrix} y_{1960}^{1} & \cdots & y_{1960}^{k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{2010}^{1} & \cdots & y_{2010}^{k} \end{pmatrix} \; ; \; X_{año}^{m} = \begin{pmatrix} x_{1960}^{1} & \cdots & x_{1960}^{10} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{2010}^{1} & \cdots & x_{2010}^{10} \end{pmatrix} \qquad (1) \text{ y } (2)$$

Se puede ver que en la notación utilizada:

- ≠ Los valores de $Y_{año}^{j}$ representan los distintos indicadores de rendimiento *j=[1, 9]* en los años de estudio *año=[1960, 2010]* y se pueden ver en la tabla 5.4-1, que representa a la matriz de 51 años x 9 KPIs. $\boldsymbol{Y_{año}^{j}}$ **es la variable de respuesta (dependiente, endógena, explicada).**
- ≠ Los valores $X_{año}^{m}$ son los valores de la tabla 5.3-2, que representan las diez variables caracterizadoras *m=[1, 10]* de las aeronaves tipo calculadas para cada uno de los 51 años de estudio *año=[1960, 2010]*. $\boldsymbol{X_{año}^{m}}$**variables explicativas (independientes, exógenas, regresores).**

Hay que destacar que la finalidad que persigue cualquier análisis de regresión, incluido este, no es otra que:

1. La determinación explícita del funcional que relaciona las variables. Que no es más que establecer el Modelo de Predicción.
2. La comprensión al analizar el modelo de las interrelaciones entre las variables que intervienen en el análisis, tanto las explicativas (variables caracterizadoras seleccionadas en las aeronaves de estudio) como las de respuesta (indicadores de rendimiento en las aerolíneas de la muestra).

año	RPMs	ASMs	Pax LF(%)	ATMs	PaxYield	RASM_¢	CASM_¢	Cons_Gll/Ud	C_MGlls
1960	37539547	62500771	60,06	687,76	6,14	3,688	3,588	2171552,66	4000
1961	38303293	68294541	56,09	703,28	6,24	3,500	3,476	2421959,10	4500
1962	41965617	78461120	53,49	722,16	6,31	3,375	3,188	2760905,58	5000
1963	48289186	90191512	53,54	728,79	6,09	3,261	3,018	3035320,09	5500
1964	56010761	101033781	55,44	743,40	5,95	3,299	2,934	3255561,58	6000
1965	65776016	118263984	55,62	751,52	5,87	3,265	2,822	3466666,67	6500
1966	76101208	130350366	58,38	771,07	5,67	3,310	2,863	3498250,87	7000
1967	94249455	165260353	57,03	786,24	5,49	3,131	2,808	3430924,06	7500
1968	108062476	203439641	53,12	799,18	5,46	2,900	2,711	3112840,47	8000
1969	118360400	234475857	50,48	825,52	5,68	2,867	2,740	3870162,30	9300
1970	123462955	246421922	50,10	887,42	5,79	2,901	2,887	3923998,35	9500
1971	126975407	260829657	48,68	895,30	6,05	2,945	2,849	4210526,32	10000
1972	142458266	267414990	53,27	916,21	6,08	3,239	3,069	4473796,34	10500
1973	150992153	288344569	52,37	922,43	6,34	3,320	3,163	4526226,73	10700
1974	150802460	274123066	55,01	909,96	7,29	4,010	3,812	4744852,28	10600
1975	150527624	279579563	53,84	919,29	7,59	4,087	4,052	4646017,70	10500
1976	165141254	297112624	55,58	930,43	7,97	4,430	4,248	4601769,91	10400
1977	177885842	317514979	56,02	934,89	8,42	4,717	4,502	4627133,87	10300
1978	208254317	337390119	61,73	960,45	8,29	5,117	4,812	4502004,18	10188
1979	233657887	369047858	63,31	991,65	8,70	5,508	5,471	4207049,72	10694
1980	221206069	372721427	59,35	1034,37	11,04	6,552	6,595	4059525,29	10267
1981	248887801	424897230	58,58	870,31	12,35	7,234	7,284	3770573,01	10588
1982	259643870	440119206	58,99	882,84	11,76	6,938	7,077	3674981,66	10400
1983	281829148	464537979	60,67	884,48	11,60	7,038	6,981	2986527,52	10671
1984	304458727	514010029	59,23	886,95	12,10	7,167	6,815	2826854,59	11912
1985	336403021	547788432	61,41	880,59	11,70	7,185	6,965	2821342,29	12603
1986	366545855	607435847	60,34	874,92	10,80	6,517	6,346	3090654,39	13682
1987	404471484	648720938	62,35	903,49	11,10	6,921	6,626	3351957,22	14480
1988	423301559	676802327	62,54	931,12	11,90	7,443	7,042	3027668,22	15181
1989	432714309	684375876	63,23	953,76	12,40	7,840	7,632	2735746,27	15462
1990	457926286	673314893	68,01	983,60	12,76	8,678	8,896	3777707,17	16150
1991	447795703	714974175	62,63	990,24	12,74	7,979	8,157	3751936,69	15248
1992	478453708	752772435	63,56	1007,04	12,50	7,945	8,193	3703538,78	15677
1993	489137135	770830560	63,46	1003,88	13,10	8,313	8,096	3720318,60	16072
1994	519381688	784336934	66,22	982,10	12,50	8,277	8,061	3751607,09	16826
1995	540656211	807077839	66,99	987,01	12,90	8,642	8,080	3758545,22	17323
1996	578408509	834688294	69,30	995,20	13,00	9,009	8,460	3713149,78	17845
1997	605574000	860803000	70,35	1010,81	13,10	9,216	8,489	3561802,08	18500
1998	619456000	874170000	70,86	1008,56	13,10	9,283	8,520	3678551,22	19500
1999	652047000	918419000	71,00	1025,23	12,90	9,159	8,501	3684297,52	20061
2000	692505000	956502000	72,40	1040,58	13,52	9,788	9,261	3714184,52	20974
2001	651700000	930511000	70,04	1047,58	12,42	8,699	9,478	3859581,81	20120
2002	639588000	892745000	71,64	1045,59	11,46	8,210	8,867	3535345,67	18154
2003	656909000	893824000	73,49	1016,41	11,78	8,658	8,811	3976328,72	17806
2004	731927000	968977000	75,54	1048,91	11,70	8,838	8,936	4389172,40	19782
2005	779004000	1003312000	77,64	1054,70	12,00	9,317	9,290	4729854,54	20485
2006	797422000	1006390000	79,24	1071,08	12,69	10,055	9,591	4604286,70	19978
2007	829032000	1037116000	79,94	1077,78	12,91	10,320	9,768	2956962,40	20131
2008	811440000	1020147000	79,54	1094,47	13,75	10,937	11,136	3063715,42	19378
2009	769485000	957198000	80,39	1093,11	11,87	9,542	9,374	2821121,38	17711
2010	798008000	972562000	82,10	1108,00	13,13	10,776	10,127	2748319,64	18400

Tabla 5.4-1 Indicadores de Rendimiento (KPIs) en las aerolíneas de la muestra (1960-2010).
Fuente: Elaborado para esta tesis con datos de Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

El **Modelo General de Regresión** vendrá representado por una ecuación matricial del tipo:

$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{\beta_0} + \boldsymbol{\beta} \cdot \boldsymbol{X} + \boldsymbol{\varepsilon} \qquad (3)$$

que a su vez resume matricialmente las k ecuaciones que se van a obtener para el modelo multivariante de cada indicador de rendimiento en función de las diez variables caracterizadoras,

$$\begin{pmatrix} \boldsymbol{y_1} \\ \boldsymbol{y_2} \\ \vdots \\ \boldsymbol{y_k} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_0^1 \\ \beta_0^2 \\ \vdots \\ \beta_0^k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \beta_1^1 & \cdots & \beta_{10}^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_1^k & \cdots & \beta_{10}^k \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \boldsymbol{x_1} \\ \boldsymbol{x_2} \\ \vdots \\ \boldsymbol{x_{10}} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_k \end{pmatrix} \qquad (4)$$

donde,

- ≠ Los $\boldsymbol{y_j}$ son las **variables de respuesta**, es decir, los *j=[1, 9]* indicadores de rendimiento que se van a utilizar en la tesis.
- ≠ Las β_0^j serán los términos independientes de las ecuaciones que componen el modelo, es decir, el valor que tomarían las variables de respuesta si las variables explicativas valen 0.
- ≠ Las β_m^j serán los coeficientes de las ecuaciones que van a definir cada indicador de rendimiento y_j en función de las x_m variables explicativas. Sabiendo que se tienen hasta 9 indicadores *j=[1, 9]* y que hay 10 variables explicativas o caracterizadoras de las aeronaves *m=[1, 10]*.
- ≠ Los $\boldsymbol{x_m}$ son las **variables explicativas**, es decir, los *m=[1, 10]* parámetros o variables caracterizadoras de las aeronaves.
- ≠ Los ε_j serán los residuos que se corresponden con perturbaciones aleatorias o errores del modelo multivariante.

Para un modelo lineal la ecuación de cada variable de respuesta (KPI) será del tipo:

$$\boldsymbol{Y_j} = \boldsymbol{\beta_0^j} + \boldsymbol{\beta_1^j} \cdot \boldsymbol{X_1} + \boldsymbol{\beta_2^j} \cdot \boldsymbol{X_2} + \cdots + \boldsymbol{\beta_{10}^j} \cdot \boldsymbol{X_{10}} + \boldsymbol{\varepsilon_j} \qquad (5)$$

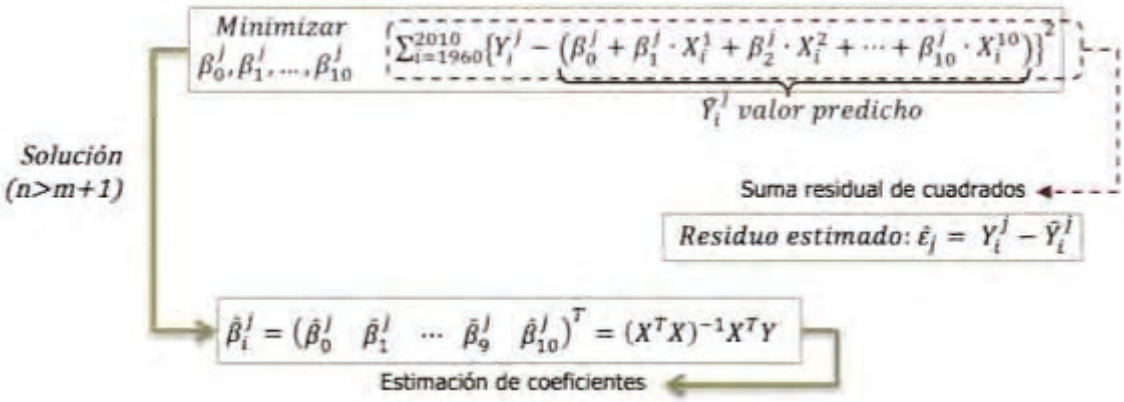
$$\begin{pmatrix} \boldsymbol{y_{1960}^j} \\ \boldsymbol{y_{1961}^j} \\ \vdots \\ \boldsymbol{y_{2010}^j} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{1960}^1 & \cdots & x_{1960}^{10} \\ 1 & x_{1961}^1 & & x_{1961}^{10} \\ & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{2010}^1 & \cdots & x_{2010}^{10} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \beta_0^j \\ \beta_1^j \\ \vdots \\ \beta_{10}^j \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{1960} \\ \varepsilon_{1961} \\ \vdots \\ \varepsilon_{2010} \end{pmatrix} \qquad (6)$$

Este modelo es válido siempre que se cumplan una serie de requisitos o hipótesis que luego habrá que comprobar.

HIPÓTESIS:

1. Los ε_j son variables aleatorias con media 0 e independientes de las $\boldsymbol{x_m}$
2. Homocedasticidad: ε_j tienen varianzas iguales σ^2.
3. No autocorrelación: ε_j son incorreladas entre sí.
4. Los ε_j son normales e independientes: inferencia sobre el modelo.
5. No multicolinealidad: Las columnas de $[\boldsymbol{X}^{\boldsymbol{m}}_{\boldsymbol{a\tilde{n}o}}]$ son linealmente independientes y por ello la matriz tiene un rango$[\boldsymbol{X}^{\boldsymbol{m}}_{\boldsymbol{a\tilde{n}o}}]$ = m+1 =11.

El modelo se va a estimar por mínimos cuadrados, de forma que:



Como se puede ver en el diagrama de flujo, claramente un modelo será válido si la distancia entre el valor predictivo y el medido es residual, por ello el objetivo es hallar el valor de los coeficientes de la ecuación lineal de regresión que permite calcular el indicador en función de las variables caracterizadoras que minimicen la distancia entre el valor medido y el valor calculado.

Con el software estadístico SPSS 20, se han ido haciendo todos los cálculos de forma que las variables explicativas o independientes han sido para todos los casos las diez variables caracterizadoras de las aeronaves tipo anuales de la tabla 5.3-2 y de manera individual y caso a caso se ha ubicado cada una de las columnas de la tabla 5.4-1 que representan cada uno de los indicadores agregados anuales, como variable dependiente o de respuesta. A partir de aquí se presentan los resultados, explicando en cada caso lo obtenido.

5.4.1. ASM_Ud: Available Seat Miles per Unit (Aircraft).

1. **Objetivo:** Ajustar un modelo lineal que permita predecir el indicador ASM_Ud (Available Seat Miles per Unit – Millas recorridas por una aeronave por nº de asientos de la misma) en función de la longitud total de la aeronave, el ancho del fuselaje, la superficie alar, el número de motores, la potencia unitaria de cada uno de estos motores, el número de pasajeros que puede transportar la aeronave en su configuración de máxima capacidad, número de tripulantes de cabina, alcance de la aeronave, velocidad de crucero y peso máximo al despegue.
2. **Variable dependiente:** Available Seat Miles per Unit (aircraft): ASM_Ud.
3. **Variables independientes:**
   a. Longitud total de la aeronave: Lt en (m).
   b. Ancho del fuselaje: A (m).
   c. Superficie alar: SupAl (m^2).
   d. Número de motores: NºM.
   e. Potencia unitaria de cada motor: PotUd (kN).
   f. Número de pasajeros en su configuración de máxima capacidad: PaxMax.
   g. Número de tripulantes de cabina: CREW.
   h. Alcance de la aeronave: Rg (km).
   i. Velocidad de crucero: Vcru.
   j. Peso máximo al despegue: MTOW (t).

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m[b]	PaxMax	Introducir

a. Variable dependiente: AvailableSeatMiles_Ud

b. Alcanzado límite de tolerancia = ,000.

Tabla 5.4-2 Tabla resumen del SPSS del análisis lineal de regresión multivariante – ASM_Ud
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig	Intervalo de confianza (95,0% para B)	
		No estandarizados		Tipificados				
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	9,709E+05	4,346E+05		2,234	0,031	9,320E+04	1,849E+06
	Lt_m	-1,371E+03	1,604E+04	-0,132	-0,085	0,932	-3,377E+04	3,102E+04
	A_m	-1,739E+05	1,245E+05	-1,351	-1,397	0,17	-4,254E+05	7,752E+04
	SupAl_m2	6,415E+03	4,204E+03	2,31	1,526	0,135	-2,074E+03	1,490E+04
	NºM	-4,159E+04	3,129E+04	-0,431	-1,329	0,191	-1,048E+05	2,159E+04
	PotUd_kN	5,338E+03	2,263E+03	4,094	2,358	0,023	7,671E+02	9,909E+03
	Crew	1,057E+04	2,644E+04	0,148	0,4	0,691	-4,283E+04	6,397E+04
	Rg_Km	-1,273E+02	3,750E+01	-1,1	-3,395	0,002	-2,031E+02	-5,158E+01
	Vcru	-5,698E+02	5,456E+02	-1,387	-1,044	0,302	-1,672E+03	5,321E+02
	MTOW_t	-4,913E+03	5,937E+03	-2,019	-0,828	0,413	-1,690E+04	7,076E+03

a. Variable dependiente: ASMs_ud

Tabla 5.4-3 Coeficientes Modelo regresión lineal multivariante calculados por SPSS 20 – ASM_Ud.
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Conviene aclarar en este primer caso ¿qué significa el dato que figura en cada columna?, ¿con qué se corresponde?, ¿cómo se va a utilizar?... por ello se ha incluido la figura aclaratoria siguiente:

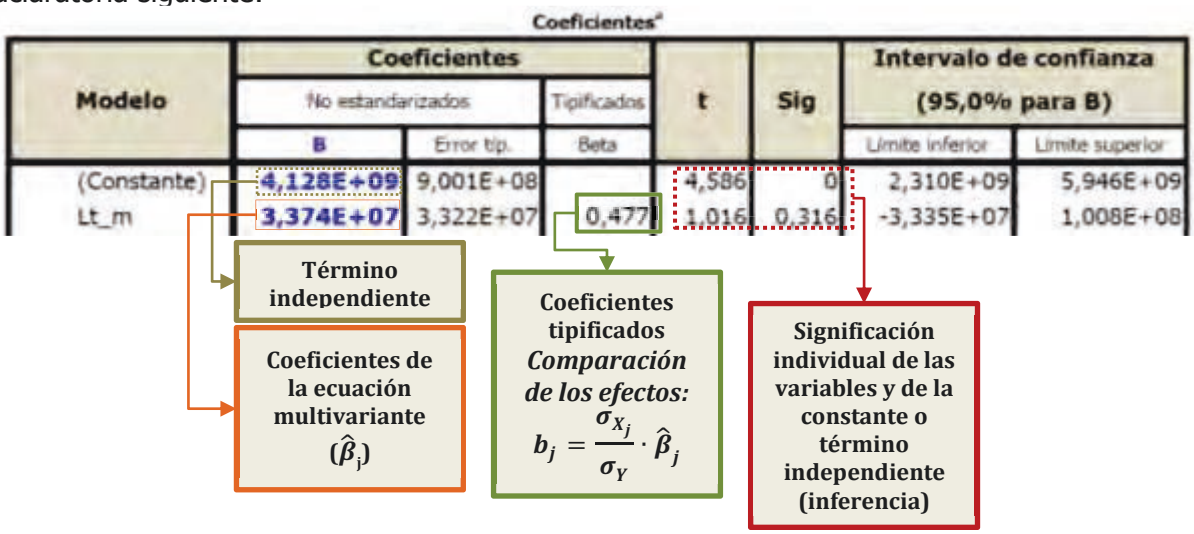


Figura 5.4-1 Significado de los valores de la Tabla "Coeficientes" calculados por SPSS 20.
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20

Los coeficientes de la ecuación del modelo de regresión lineal multivariante que permiten hallar el valor del indicador ASM en función de las variables explicativas o caracterizadoras son los que están en la columna B (Coeficientes no estandarizados), de manera que aparecen sucesivamente, el término independiente seguido del coeficiente de la variable explicativa de la columna –Modelo", por lo que es posible presentar la ecuación (7):

$$\boldsymbol{ASM\_Ud} = 9.709\ E^{+05} - 1{,}371\ E^{+03} \cdot \boldsymbol{Lt} - 1{,}739\ E^{+05} \cdot \boldsymbol{A} + 6{,}415\ E^{+03} \cdot \boldsymbol{Sa} +$$

$$-4{,}159\ E^{+04} \cdot \boldsymbol{N} + 5{,}338\ E^{+03} \cdot \boldsymbol{Pu} + 1{,}057\ E^{+04} \cdot \boldsymbol{Cr} - 1{,}273\ E^{+02} \cdot \boldsymbol{Rg} - 5{,}698\ E^{+02} \cdot \boldsymbol{Vc} - 4{,}913\ E^{+03} \cdot \boldsymbol{Mtow}$$

4. Inferencia sobre el modelo: validación del modelo multivariante

Después de la estimación de los parámetros conviene efectuar un conjunto de pruebas de validación de los resultados obtenidos. Se establecerá un tipo de prueba que consiste en la realización de comprobaciones de la calidad de la información muestral utilizada, del ajuste de dicha información al modelo teórico subyacente y la estabilidad de los datos frente a la estructura que debió generarlos en relación con el modelo especificado. Asimismo, es conveniente señalar las posibles divergencias, si las hubiere, en relación con las hipótesis mantenidas y que definieron lo que se suele calificar como modelo de regresión estándar. Siguiendo la terminología habitual este tipo de pruebas se conoce como pruebas de especificación errónea del modelo.

La tabla 5.4.4 contiene un esquema de todas las pruebas y contrastes de validación y especificación de los modelos posibles, muchas de ellas se utilizarán en este análisis.

ESQUEMA DE VALIDACIÓN DEL MODELOS: CONTRASTES DE ESPECIFICACIÓN INCORRECTA Y CONTRASTES DE ESPECIFICACIÓN		
CONTRASTES DE ESPECIFICACIÓN INCORRECTA Y CALIDAD DE LOS DATOS	Significado de los parámetros	¿Concuerdan el signo y el valor con lo esperado, según la teoría?
	Significación estadística de la ecuación y de los parámetros	Contrastes de significación individual (t)
		Contrastes de significación de subconjuntos de parámetros (F)
		Contrastes de restricciones lineales sobre los parámetros (F)
		Contraste de significación global del ajuste (F)
	¿Multicolinealidad? ¿Outliers?	Matriz de correlaciones de X
		Gráficos de los residuos
	¿Autocorrelación entre los errores?	Gráfico de los residuos
		Contraste Durbin-Watson (DW)
	¿Heterocedasticidad?	Gráficos
		Contraste de Breusch y Pagan (BP)
	¿Errores normales?	Histograma de los residuos
		Contraste Jarque y Bera (JB)
	Pruebas de linealidad de la relación (especificación de la forma funcional)	Gráficos
		Contraste RESET de Ramsey
	Análisis de Estabilidad	Contraste de Chow
		Contraste de Hansen
		Contrastes basados en la estimación recursiva: CUSUM,
		CUSUMQ

Tabla 5.4-4 Validación de modelos: contrastes de especificación y calidad de los datos.
Fuente: Manual de Econometría. [38]

El significado de los parámetros que figura en la Tabla 5.4-4 como primer contraste a realizar, en este caso, está asegurado por la fuente y el método que se han utilizado para seleccionar los parámetros, es decir las variables caracterizadoras y los KPIs. Por lo que se pasa al siguiente contraste propuesto que es el de valorar la **significación estadística de la ecuación y de los parámetros,** para seguir luego con el resto de contrastes considerados de interés para esta tesis.

a. Significación individual de las variables: La utilidad de este proceso es verificar si cada variable aporta información significativa al análisis. No obstante hay que saber que depende de las interrelaciones entre las variables y no es concluyente.

El contraste de hipótesis (X_j^m):

$$H_0: \quad \beta_j = 0$$
$$H_1: \quad \beta_j \neq 0$$

Aceptar H_0 significa que la variable —no aporta información significativa" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años, un número de variables explicativas o independientes de k=10 y una confianza del 95%, se obtiene una t de Student (ver tabla 5.4-6 para t_{n-k-1}, es decir df=40) de t_{40}=2,021, se obtiene:

Coeficientes[a]

Modelo	Coeficientes			t	Sig
	No estandarizados		Tipificados		
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	9,709E+05	4,346E+05		2,234	0,031
Lt_m	-1,371E+03	1,604E+04	-0,132	-0,085	0,932
A_m	-1,739E+05	1,245E+05	-1,351	-1,397	0,17
SupAl_m2	6,415E+03	4,204E+03	2,31	1,526	0,135
NºM	-4,159E+04	3,129E+04	-0,431	-1,329	0,191
PotUd_kN	5,338E+03	2,263E+03	4,094	2,358	0,023
Crew	1,057E+04	2,644E+04	0,148	0,4	0,691
Rg_Km	-1,273E+02	3,750E+01	1,1	-3,395	0,002
Vcru	-5,698E+02	5,456E+02	-1,387	-1,044	0,302
MTOW_t	-4,913E+03	5,937E+03	-2,019	-0,828	0,413

a. Variable dependiente: ASMs_ud

Tabla 5.4-5 Análisis de significación individual de las variables – ASM_Ud.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que sólo son significativas las variables de Potencia por motor en Kilonewtons y el alcance en kilómetros, ya que el valor absoluto de la columna t de la tabla debe ser mayor o igual que la t_{40} obtenida de la tabla. Considerando que hay una variable excluida se podría evaluar t_{41} dando el mismo resultado. Se puede ver asimismo que el valor de la columna —Sig", es cero o prácticamente cero, lo que corrobora la significación de estas variables explicativas.

De esta manera la ecuación del modelo ASM_Ud, se simplificaría al considerar sólo dos variables independientes de las diez posibles, ya que la variable Paxmax fue excluida por colinealidad, es decir, depender linealmente del resto de variables.

Table entry for p and C is the critical value t^* with probability p lying to its right and probability C lying between $-t^*$ and t^*.

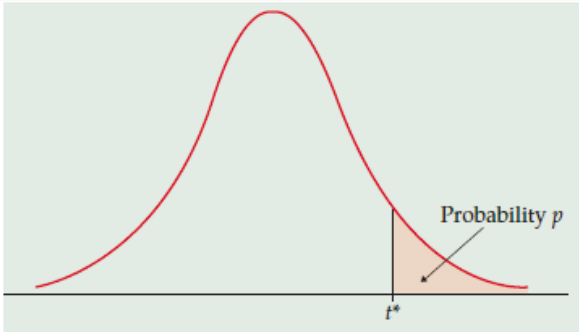


TABLE D *t* distribution critical values

	Upper tail probability p											
df	.25	.20	.15	.10	.05	.025	.02	.01	.005	.0025	.001	.0005
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	15.89	31.82	63.66	127.3	318.3	636.6
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	4.849	6.965	9.925	14.09	22.33	31.60
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	3.482	4.541	5.841	7.453	10.21	12.92
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	2.999	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	2.757	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	2.612	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.517	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.449	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.398	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.359	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.328	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.303	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.282	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.264	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.249	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.235	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.224	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.214	2.552	2.878	3.197	3.611	3.922
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.205	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.197	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.189	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.183	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.177	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.172	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.167	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.162	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.158	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.154	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.150	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.147	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.123	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
50	0.679	0.849	1.047	1.299	1.676	2.009	2.109	2.403	2.678	2.937	3.261	3.496
60	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.099	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
80	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.088	2.374	2.639	2.887	3.195	3.416
100	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.081	2.364	2.626	2.871	3.174	3.390
1000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.056	2.330	2.581	2.813	3.098	3.300
z^*	0.674	0.841	1.036	1.282	1.645	1.960	2.054	2.326	2.576	2.807	3.091	3.291
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	96%	98%	99%	99.5%	99.8%	99.9%
	Confidence level C											

Tabla 5.4-6 Tabla t de Student: para el contraste de hipótesis de las variables independientes.
Fuente: Introduction to the Practice of Statistics. [40]

b. Significación de la constante: con este proceso se pretende verificar si la variable dependiente tiene media 0 cuando las variables explicativas se anulan.

En el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \beta_0 = 0$$
$$H_1: \quad \beta_0 \neq 0$$

Aceptar H_0 significa que —noes conveniente incluir un término constante" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años y una confianza del 95%, se obtiene una t de Student (ver tabla 5.4-8 para t_{n-2}, es decir df=49) de t_{49}=2,0102, que se calcula interpolando linealmente t_{50}=2,009 y t_{40}=2,021.

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	9,709E+05	4,346E+05		2,234	0,031
	Lt_m	-1,371E+03	1,604E+04	-0,132	-0,085	0,932
	A_m	-1,739E+05	1,245E+05	-1,351	-1,397	0,17
	SupAl_m2	6,415E+03	4,204E+03	2,31	1,526	0,135
	NºM	-4,159E+04	3,129E+04	-0,431	-1,329	0,191
	PotUd_kN	5,338E+03	2,263E+03	4,094	2,358	0,023
	Crew	1,057E+04	2,644E+04	0,148	0,4	0,691
	Rg_Km	-1,273E+02	3,750E+01	-1,1	-3,395	0,002
	Vcru	-5,698E+02	5,456E+02	-1,387	-1,044	0,302
	MTOW_t	-4,913E+03	5,937E+03	-2,019	-0,828	0,413

a. Variable dependiente: ASMs_ud

Tabla 5.4-7 Análisis de significación del término independiente – ASM_Ud.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que t=2,234 > t_{49}=2,0102. Es decir, el valor es superior al de la tabla por lo que **hay que incluir la constante en el modelo**. Se puede ver asimismo que el valor de la columna –Sig" es cero, lo que, como en el caso de las variables, corrobora su significación.

De esta manera la ecuación (8) del nuevo modelo ***ASM_Ud*** simplificado es:

$$\boldsymbol{ASM\_Ud} = 9{,}709\ E^{+05} + 5{,}338\ E^{+03} \cdot \boldsymbol{Pu} - 1{,}273\ E^{+02} \cdot \boldsymbol{Rg}$$

TABLE D *t* distribution critical values

	Upper tail probability *p*											
df	.25	.20	.15	.10	.05	.025	.02	.01	.005	.0025	.001	.0005
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	15.89	31.82	63.66	127.3	318.3	636.6
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	4.849	6.965	9.925	14.09	22.33	31.60
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	3.482	4.541	5.841	7.453	10.21	12.92
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	2.999	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	2.757	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	2.612	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.517	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.449	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.398	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.359	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.328	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.303	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.282	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.264	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.249	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.235	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.224	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.214	2.552	2.878	3.197	3.611	3.922
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.205	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.197	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.189	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.183	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.177	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.172	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.167	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.162	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.158	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.154	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.150	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.147	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.123	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
50	0.679	0.849	1.047	1.299	1.676	2.009	2.109	2.403	2.678	2.937	3.261	3.496
60	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.099	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
80	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.088	2.374	2.639	2.887	3.195	3.416
100	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.081	2.364	2.626	2.871	3.174	3.390
1000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.056	2.330	2.581	2.813	3.098	3.300
z^*	0.674	0.841	1.036	1.282	1.645	1.960	2.054	2.326	2.576	2.807	3.091	3.291
	50%	60%	70%	80%	90%	95%	96%	98%	99%	99.5%	99.8%	99.9%
	Confidence level *C*											

Tabla 5.4-8 Tabla t de Student: para el contraste de hipótesis de las variables independientes.
Fuente: Introduction to the Practice of Statistics. [40]

c. **Bondad del ajuste:** para este análisis se descompone la variabilidad en función de la fuente de dicha variabilidad, es decir comparar la variabilidad del modelo y la residual.

$$\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{y})^2=\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{Y}_i-\bar{y}\right)^2+\sum_{i=1}^{n}\hat{\varepsilon}_i^2 \qquad (9)$$

Donde:

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados
Modelo	$VE=\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{Y}_i-\bar{y}\right)^2$
Residual	$VNE=\sum_{i=}^{n}\hat{\varepsilon}_i^2$
Total	$VT=\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{y})^2$

Con estos valores se puede calcular el **Coeficiente de determinación R^2**, donde R es el Coeficiente de correlación lineal múltiple e indica la mayor correlación entre Y (variable dependiente o de respuesta) y las combinaciones lineales de las variables explicativas o independientes, es decir, la proporción de la variabilidad de la variable de respuesta que queda explicada por la regresión. En el caso que se está estudiando, la correlación entre el indicador de rendimiento ASM y las variables caracterizadoras de la aeronave.

$$R^2 = \frac{VE}{VT} = 1 - \frac{VNE}{VT} \qquad (10)$$

Aunque es conveniente calcular el **Coeficiente de determinación corregido $\bar{R}^2$** porque este valor de R^2 sobrevalora la bondad del ajuste, ya que en casos con un número de grados de libertad reducidos, puede generar un R^2 elevado sin que exista una relación estrecha.

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} R^2 \qquad (11)$$

Donde n sería el número de casos, para este estudio 51 que son los años estudiados y k sería el número de variables independientes o explicativas, que en este caso son 10, aunque en los cálculos de este indicador ASM debería utilizarse 9 porque una de las variables ha sido excluida por colinealidad (PaxMax) según se ve en la tabla adjunta proporcionada por el SPSS.

Variables excluidas[a]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad		
						Tolerancia	FIV	Tolerancia mínima
1	PaxMax	12,403[b]	2,234	,031	,333	7,628E-005	13109,270	7,628E-005

a. Variable dependiente: ASMs_ud

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Aplicando ahora al caso de estudio las ecuaciones 10 y 11, se obtienen los valores:

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,946[a]	,894	,871	17107,2755	,894	38,516	9	41	,000	,975

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: ASMs_ud

Como $R^2 = 0{,}894$, el indicador ASM_Ud queda explicado casi en un 90% por las variables explicativas según el modelo lineal considerado, lo cual en principio asegura el éxito del modelo para este indicador. El coeficiente corregido $\bar{R}^2 = 0{,}871$, que también es un excelente valor de casi el 88 %, que confirma lo anterior.

d. **Contraste de regresión (ANOVA):** se pretende verificar que de forma conjunta las variables explicativas aportan información en la explicación de la variable de respuesta.

El software SPSS, realiza una descomposición de la variabilidad total VT en la variabilidad explicada por la regresión VE y la residual o no explicada por la regresión VNE, según se puede ver en la ecuación (9).

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad (gl)	Cuadrados medios	F_{exp}
Regresión (explicada)	VE	k	VE/K	$\frac{VE/k}{VNE/(n-k-1)}$
Residual (No explicada)	VNE	$n\text{-}k\text{-}1$	$VNE/(n\text{-}k\text{-}1)$	
TOTAL	VT	$n\text{-}1$		

El software realiza los cálculos internos y suministra una tabla, que se puede observar en la página siguiente, con los valores obtenidos para el caso en estudio y según el detalle explicado en tabla anterior. A partir de ello, se realizará el contraste de significación del modelo conjunto, teniendo en cuenta la variabilidad explicada por la regresión respecto a la no explicada (cuya distribución muestral sigue un *modelo F de Fischer-Snedecor*). De manera que si la hipótesis nula $\boldsymbol{H_0}$ fuera cierta, ninguna de las variables regresoras influiría en la variable respuesta (el modelo no influye). En este supuesto se verificaría que

$$\boldsymbol{VE = \sum_{i=1}^{n} (\hat{Y}_i - \bar{y})^2 \approx 0}$$

por ser ésta una medida absoluta se compara con la varianza residual, lo que lleva a utilizar como estadístico del contraste

$$\boldsymbol{F_{exp} = \frac{VE/k}{VNE/(n-k-1)}} \qquad (12)$$

Bajo la hipótesis nula y por la hipótesis de independencia se garantiza que F_{exp} sigue una *distribución F de Fischer-Snedecor* (contraste de la F_{exp}) con k y n-(k+1) grados de libertad.

El contraste de la F_{exp} es unilateral (de una cola) y generaliza el contraste de regresión expuesto para el modelo de regresión lineal simple. Efectuando el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_k = 0}$$
$$H_1: \quad Algún\ \boldsymbol{\beta_j \neq 0}$$

Aceptar $\boldsymbol{H_0}$ significa que "las variables explicativas no están relacionadas linealmente con la variable de respuesta" en el análisis de regresión realizado, el modelo no sería relevante y habría que buscar otro modelo.

En la resolución (ANOVA), si el estadístico de Fischer $F_{k,n-k-1}$ es menor que el valor calculado según la ecuación (12) y su significación es cero o prácticamente cero se puede rechazar $\boldsymbol{H_0}$.

ANOVA[a]

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1,014E+11	9	1,127E+10	38,516	,000[b]
	Residual	1,200E+10	41	292658875		
	Total	1,134E+11	50			

a. Variable dependiente: ASMs_ud

b. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Al nivel de significación α = 5% se rechaza la hipótesis nula $\boldsymbol{H_0}$ por lo que las variables explicativas influyen de forma conjunta y lineal sobre la variable de respuesta y el modelo es relevante. En la tabla 5.4-9 de la *Distribución-F* de Fischer se puede comprobar que el valor de $F_{9,41}$ = 1,34 que es muy inferior al calculado por SPSS para este modelo, lo que en otros términos permite decir que la regresión considerada globalmente explica las variaciones intramuestrales de la variable endógena.

Table V Percentage Points f_{α,ν_1,ν_2} of the F-Distribution

ν_2 \ ν_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
1	5.83	7.50	8.20	8.58	8.82	8.98	9.10	9.19	9.26	9.32	9.41	9.49	9.58
2	2.57	3.00	3.15	3.23	3.28	3.31	3.34	3.35	3.37	3.38	3.39	3.41	3.43
3	2.02	2.28	2.36	2.39	2.41	2.42	2.43	2.44	2.44	2.44	2.45	2.46	2.46
4	1.81	2.00	2.05	2.06	2.07	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08
5	1.69	1.85	1.88	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.88
6	1.62	1.76	1.78	1.79	1.79	1.78	1.78	1.78	1.77	1.77	1.77	1.76	1.76
7	1.57	1.70	1.72	1.72	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.69	1.68	1.68	1.67
8	1.54	1.66	1.67	1.66	1.66	1.65	1.64	1.64	1.63	1.63	1.62	1.62	1.61
9	1.51	1.62	1.63	1.63	1.62	1.61	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56
10	1.49	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52
11	1.47	1.58	1.58	1.57	1.56	1.55	1.54	1.53	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49
12	1.46	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.51	1.51	1.50	1.49	1.48	1.47
13	1.45	1.55	1.55	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45
14	1.44	1.53	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43
15	1.43	1.52	1.52	1.51	1.49	1.49	1.47	1.46	1.46	1.45	1.44	1.43	1.41
16	1.42	1.51	1.51	1.50	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.44	1.43	1.41	1.40
17	1.42	1.51	1.50	1.49	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.43	1.41	1.40	1.39
18	1.41	1.50	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.42	1.40	1.39	1.38
19	1.41	1.49	1.49	1.47	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.41	1.40	1.38	1.37
20	1.40	1.49	1.48	1.47	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.37	1.36
21	1.40	1.48	1.48	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.35
22	1.40	1.48	1.47	1.45	1.44	1.42	1.41	1.40	1.39	1.39	1.37	1.36	1.34
23	1.39	1.47	1.47	1.45	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.35	1.34
24	1.39	1.47	1.46	1.44	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.38	1.36	1.35	1.33
25	1.39	1.47	1.46	1.44	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.33
26	1.38	1.46	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.37	1.35	1.34	1.32
27	1.38	1.46	1.45	1.43	1.42	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.33	1.32
28	1.38	1.46	1.45	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.33	1.31
29	1.38	1.45	1.45	1.43	1.41	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.31
30	1.38	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.30
40	1.36	1.44	1.42	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.31	1.30	1.28
60	1.35	1.42	1.41	1.38	1.37	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.27	1.25
120	1.34	1.40	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26	1.24	1.22
∞	1.32	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.25	1.24	1.22	1.19

Tabla 5.4-9 Tabla Distribución-F: para el contraste de regresión (ANOVA).
Fuente: Introduction to the Practice of Statistics. [40]

e. **Predicción. Bandas de confianza:** en el gráfico 5.4-1 se puede observar la bondad de la predicción, con unos índices de confianza para la media muy altos. Y se puede ver que no hay valores fuera de las bandas de confianza del 95%, corroborando como el resto de contrastes la bondad del modelo.

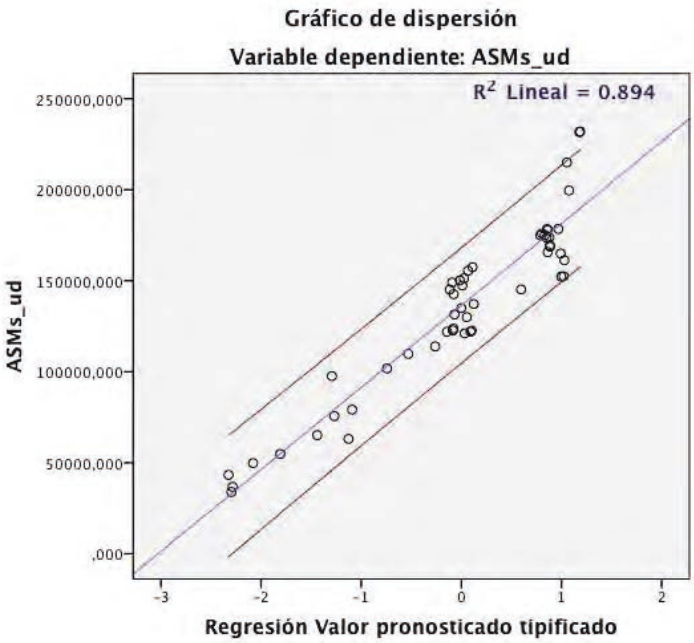


Gráfico 5.4-1 Gráfico de dispersión ASM vs. Valor pronosticado tipificado
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

f. **Análisis de los residuos:** tiene como objetivo verificar que no se violan las hipótesis sobre las que se estima el modelo y se realiza la inferencia. Para ello se estudia la:

1. **Normalidad de los residuos.**
2. **No autocorrelación.**
3. **Hocedasticidad.**
4. **Falta de linealidad.**
5. **No multicolinealidad.**

1. **Normalidad de los residuos:** dentro de las herramientas de análisis disponibles en SPSS 20, se van a utilizar el histograma y el gráfico probabilístico normal para verificar que efectivamente existe normalidad en los residuos.

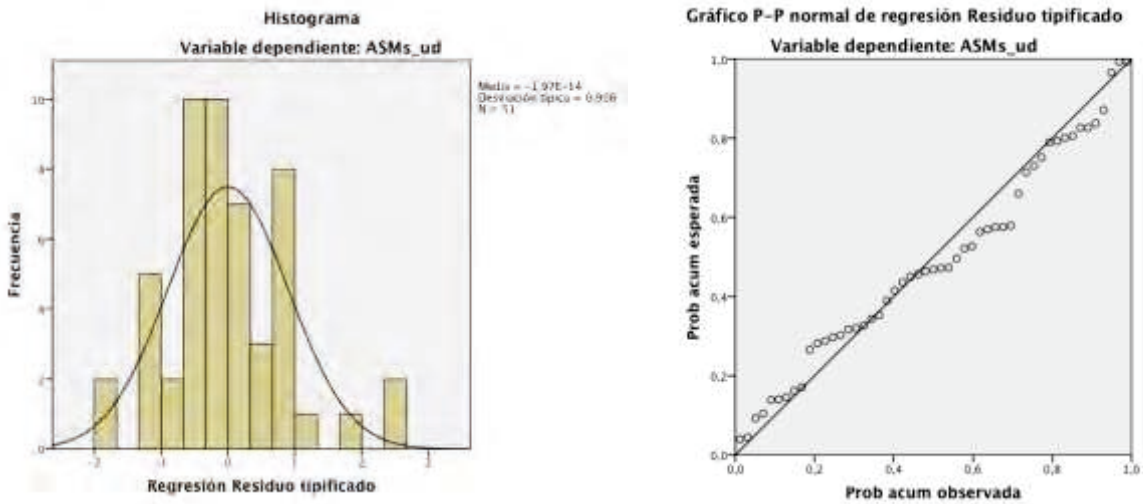


Gráfico 5.4-2/3 Histograma y gráfico probabilístico normal de los residuos tipificados - ASM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

En los gráficos se evidencia una tendencia a la normalidad suficiente, en comparación con una distribución normal (unimodal, simétrica y acampanada) señala similitudes aceptables.

2. **No autocorrelación:** hace referencia a la inercia de una observación a otra que pueda indicar la no independencia entre los residuos. Trata de buscar modelos o pautas en los gráficos residuales frente a número de caso. El Test de Durbin-Watson permite evaluar si existe autocorrelación en una Regresión lineal, sea simple o múltiple. Con ello se pretende ver si los valores presentan algún tipo de dependencia en cuanto al orden de obtención. Si fuera así se estaría incumpliendo una de las condiciones del modelo y cuando se incumplen las condiciones de un modelo de Regresión lineal (normalidad, homogeneidad de varianzas, independencia de los datos) las estimaciones de los parámetros del modelo (los coeficientes del modelo) no tienen los criterios de calidad que se suponen.

   Se calcula el estadístico de Durbin-Watson d como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}(e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n} e_t^2} \qquad (13)$$

El contraste de hipótesis tiene como Hipótesis nula que la autocorrelación es cero frente a la alternativa que afirma que es distinta de cero:

$$H_0: \quad \rho = 0 \quad \boldsymbol{no\ hay\ autocorrelación}$$
$$H_1: \quad \rho \neq 0 \quad \boldsymbol{si\ hay\ autocorrelació}$$

de forma que

$$d < d_L\ se\ rechaza\ H_0$$
$$d > d_U\ no\ se\ rechaza\ H_0$$
$$d_L < d < d_U\ test\ no\ decisivo$$

En el planteamiento del Test, por tradición, se suele hablar de la variable independiente tiempo, por eso aparece el signo —"t, pero el planteamiento valdría para cualquier variable independiente o cualquier juego de variables independientes.

En una Regresión la noción de residuo es la diferencia entre el valor de la variable dependiente de un valor muestral y el valor estimado, el valor que le correspondería hipotéticamente a ese individuo, mediante el modelo construido mediante esa Regresión.

En las tablas pueden verse los valores críticos de Durbin-Watson que permiten tomar la decisión de mantener la Hipótesis nula, pasar a la Hipótesis alternativa o permite estar en una zona de indecisión, buscando para *Critical Values for the Durbin-Watson Test: 5% Significance Level T=6 to 100, K=2 to 21 (K <= T-4) K no intercept* en el link de la Universidad de Standford (http://web.stanford.edu/~clint/bench/dw05a.htm), se ha obtenido para T=51 y K=9 unos valores de d_L=0,9274 y d_U=2,2174. Si se tiene en cuenta que el valor calculado con la expresión (13) por el software SPSS-20 es d =0,975, se puede colegir que la prueba no es concluyente, el test no es decisivo.

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,946[a]	,894	,871	17107,2755	,894	38,516	9	41	,000	,975

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: ASMs_ud

3. **Homocedasticidad:** hace referencia a la constancia de los residuos para los valores que van tomando las variables independientes. Se comparan la distribución aleatoria de los residuos mediante la representación de los valores de los residuos de las variables independientes frente a los valores tipificados de la variable dependiente. Cuando el término de perturbación es homocedástico los residuos se comportan igual independientemente de los valores de las variables explicativas.

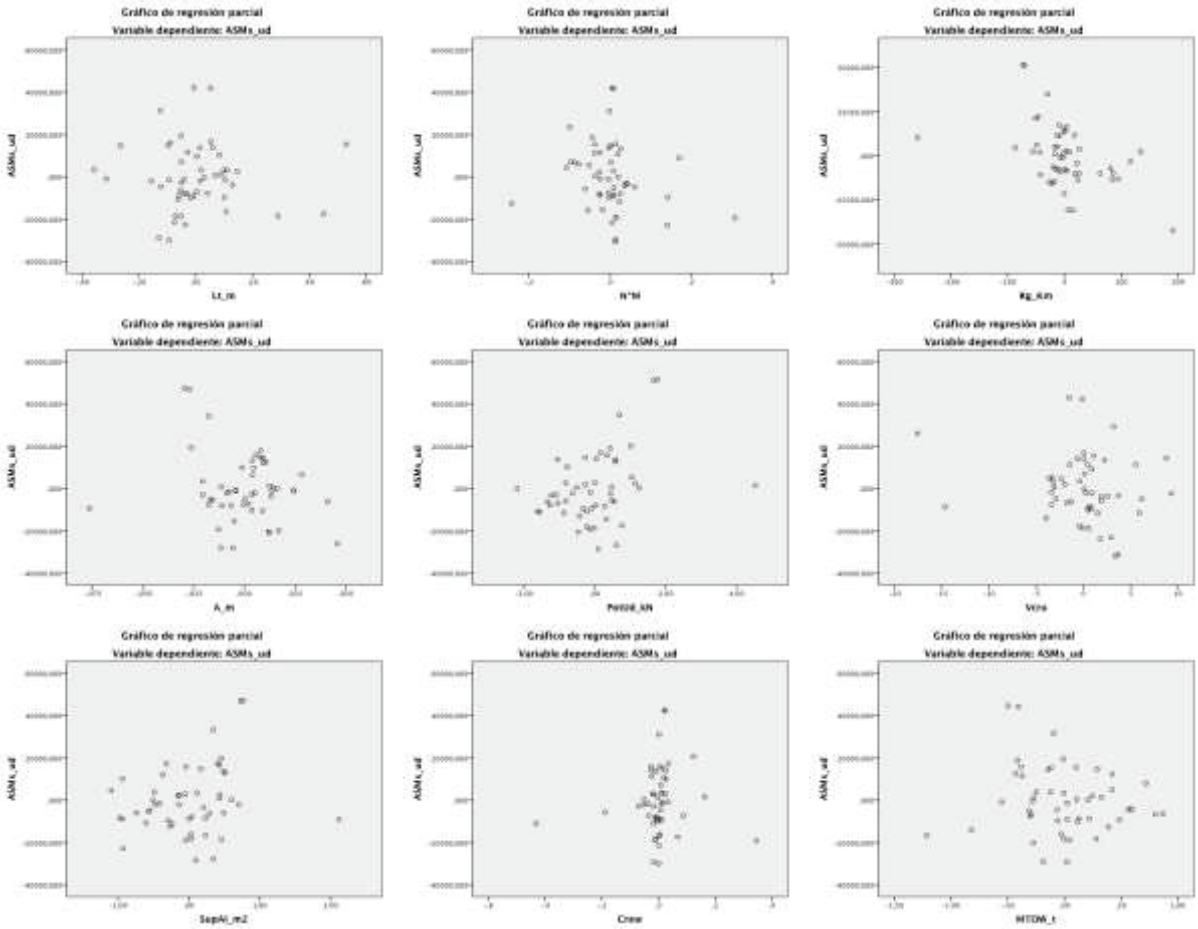


Gráfico 5.4-4 Gráficos d dispersión: regresiones parciales v. explicativas vs. v. respuesta – ASM_Ud
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

La aleatoriedad garantiza la homocedasticidad, porque si se viera alguna tendencia en función de las diferentes variables explicativas habría heterocedasticidad para esa variable. Lo que significaría un comportamiento de la varianza no constante en el término de perturbación. A la vista de los gráficos se puede aceptar la hipótesis de homocedasticidad en los residuos.

4. **Falta de linealidad:** hace referencia a las posibles desviaciones de los datos desde el modelo lineal que se está ajustando.

Una forma sencilla de analizar la existencia de relación lineal entre las variables en el modelo especificado consiste en la observación del gráfico resultante de representar sobre un plano los valores de los errores de la regresión (residuos tipificados o estudentizados) con los valores ajustados o pronosticados de la endógena (Gráfico 5.4-5). También se utilizan en ocasiones los gráficos de la variable respuesta con cada una de las variables explicativas (ver gráfico 5.4-4). Si en cualquiera de estos gráficos se apreciara un comportamiento sistemático, se podría sospechar que la especificación lineal no es la más adecuada.

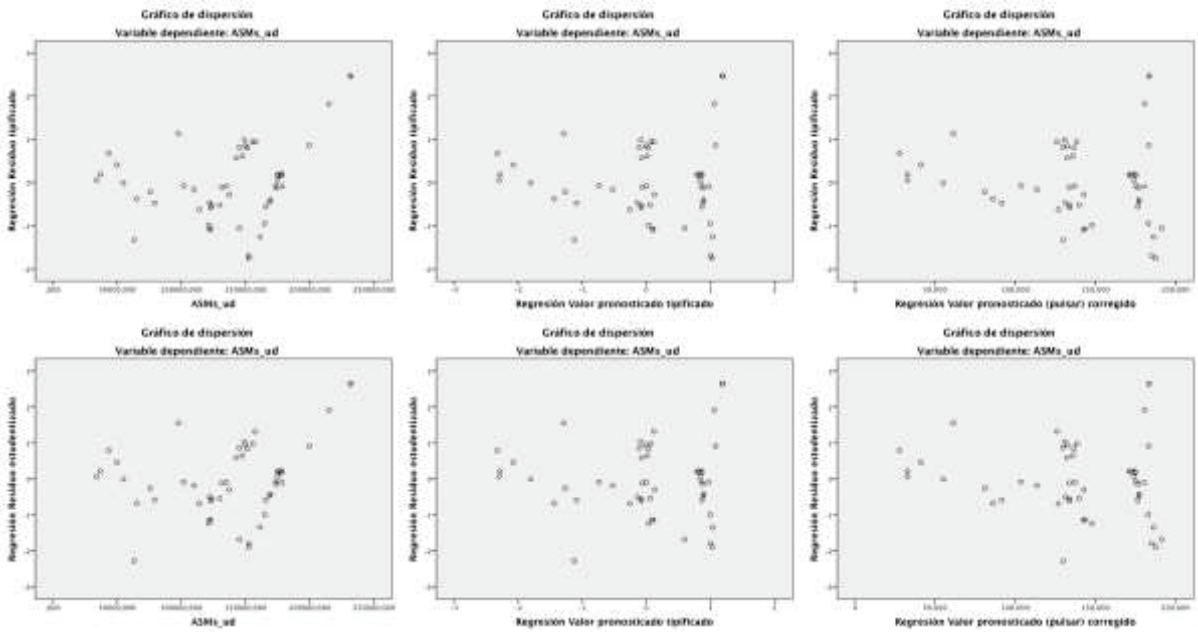


Gráfico 5.4-5 Gráficos de dispersión de regresiones v.endógena y valores pronosticados corregidos y sin corregir vs. residuos tipificados y estudentizados, para ASM_Ud.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Como se puede observar no existe comportamiento sistemático lo cual garantiza la falta de linealidad.

5. **No multicolinealidad:** hace referencia a la posible colinealidad, que es la asociación, medida como correlación, entre dos variables explicativas (el término multicolinealidad se utiliza para tres o más variables explicativas). La utilización de varias variables como predictores, hace necesaria la evaluación de la correlación múltiple entre las variables independientes como medio de evaluar la multicolinealidad. [1]

El **impacto de la multicolinealidad** viene dado por la reducción del poder explicativo de cualquier variable explicativa individual en la medida en que está correlada con las otras variables explicativas presentes en el modelo. Siguiendo el proceso descrito en el Hair [1], se aplicará un proceso en dos partes utilizando un método que tiene dos componentes:

- el primero es el **índice de condicionamiento,** que representa la colinealidad de las combinaciones de variables en el conjunto de datos (tamaño relativo de los autovalores de la matriz);
- y el segundo la **matriz de descomposición de la varianza del coeficiente de regresión,** que muestra la proporción de la varianza de cada coeficiente de regresión (y su variable asociada) atribuible a cada índice de condicionamiento.

El software SPSS-20 que se ha utilizado para esta tesis calcula ambos además de unos estimadores que son el **FIV** (factor de inflación de la varianza) y los valores de la **tolerancia.**

Como se anunciaba en el párrafo anterior, el procedimiento tiene **dos partes**:

1. Identificar los índices de condicionamiento que estén por encima de un valor límite. Este umbral habitualmente está comprendido en un rango entre 15 y 30, con 30 como valor más utilizado. Por ello <u>se buscarán los índices de condicionamiento que estén por encima del umbral: 30.</u>
2. Para todos los índices de condicionamiento que excedan el umbral, <u>identificar las variables con proporciones de varianza por encima del 90%.</u>

Habrá multicolinealidad cuando un índice de condicionamiento identificado en el primer paso por encima del valor del umbral, tiene en cuenta una proporción sustancial de la varianza de dos o más coeficientes.

Diagnósticos de colinealidad[a]

Modelo	Dimensión	Autovalores	Índice de condición	Proporciones de la varianza									
				(Constante)	Lt_m	A_m	SupAl_m2	N°M	PotUd_kN	Crew	Rg_Km	Vcru	MTOW_t
1	1	9,751	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	,221	6,649	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	3	,022	20,891	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,00
	4	,004	49,931	,00	,00	,00	,00	,01	,01	,05	,00	,00	,00
	5	,002	72,521	,00	,00	,00	,00	,06	,00	,01	,00	,00	,00
	6	,001	131,866	,00	,00	,00	,00	,57	,00	,64	,04	,00	,00
	7	,000	297,907	,02	,01	,10	,00	,08	,00	,20	,14	,05	,00
	8	2,115E-005	678,968	,51	,03	,32	,01	,14	,08	,01	,34	,22	,06
	9	7,823E-006	1116,455	,45	,95	,09	,00	,01	,03	,01	,00	,69	,15
	10	5,979E-006	1277,027	,02	,01	,50	,99	,12	,88	,08	,47	,03	,79

a. Variable dependiente: ASMs_ud

Tabla 5.4-10 Diagnósticos de multicolinealidad: índices de condicionamiento y matriz de proporciones de la varianza, para ASM_Ud.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Se puede ver en la tabla 5.4-10 de diagnóstico de colinealidad de SPSS-20 que hay 7 índices de condicionamiento claramente por encima de 30, correspondientes a las dimensiones de 4 a 10, pero se puede ver en la matriz de descomposición de la varianza (proporciones de la varianza), que ningún índice de condicionamiento tiene dos o mas coeficientes con una proporción de la varianza por encima del 90%. De hecho se han marcado los dos únicos casos que es así y se corresponden a dos coeficientes índices distintos. Por ello no se observa colinealidad y se puede seguir con el proceso de validación y contraste.

g. **Datos anómalos y Medidas de influencia:** el objetivo es detectar datos anómalos y datos influyentes, entendiendo como datos anómalos o atípicos a los individuos cuyo residuos tipificado es superior a 3 (en valor absoluto) y como datos influyentes a aquellos individuos cuya omisión produce cambios notables en los resultados del análisis. En nuestro caso los individuos son los aviones tipo de cada año.

Las herramientas estadísticas para las medidas de influencia son:

- **Identificación de puntos de apalancamiento** (observaciones aisladas del resto sobre una o más variables independientes). Las medidas para identificar puntos de apalancamiento son:
  - **Leverage o medida de influencia:** medida de la influencia del valor observado de la variable dependiente sobre los valores predichos. Este valor se calcula con el número de predictores (k) más uno, dividido por el número de observaciones (n) y se sitúa entre 0 (ninguna influencia de la observación sobre el valor predicho) y 1 (influencia completa de la observación sobre el valor predicho).
  - **Distancia de Mahalanobis:** Considera la distancia de cada observación desde los valores medios de las variables independientes, es una forma de determinar la similitud entre dos variables aleatorias multidimensionales. Se diferencia de la distancia euclídea en que tiene en cuenta la correlación entre las variables aleatorias. Existen tablas para contrastar, pero en general es suficiente con identificar valores considerablemente altos respecto al resto.

- **Observaciones influyentes:** influencias sobre coeficientes individuales, medidas globales de influencia. Medidas para identificar observaciones influyentes:
  - <u>Influencias sobre coeficientes individuales:</u>
    - **DFBETA:** Mide el efecto del dato i-ésimo ejerce sobre β_j. Límites para la versión estandarizada: $\pm 2n^{-1/2}$ (si n<50 usar los límites de la normal).
  - <u>Medidas globales de influencia:</u>
    - **DFITTS:** Mide el efecto del dato i-ésimo ejerce en su propia predicción. Límites para la versión estandarizada: $\pm 2[(k+2)/(n-k-2)]^{1/2}$

- **COVRATIO:** Representa el grado en que una observación tiene impacto sobre los errores estándar de los coeficientes. Límites: 1±3(k+1)/n
- **Distancia de Cook:** estadístico que considera la influencia de un caso sobre el modelo en su conjunto. Los valores más elevados de 1 deben ser objeto de estudio por el investigador. En general se deben localizar los valores que exceden de 4/(n-k-1).

A partir de estos conceptos definidos en el Hair [1] y utilizando la herramienta estadística SSPS-20 como hasta ahora, se utilizarán y calcularán los siguientes:

≠ **Detección de residuos atípicos:** Los valores tipificados de los residuos deben estar entre -3 y 3. Según se puede ver en la tabla 5.4.11, no existe ningún residuo tipificado fuera de tolerancia ya que están en el intervalo [-1,750 ; 2,466]. Algo que se podía ver ya en el histograma representando en el gráfico 5.4-2.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	31734,1113	189899,250	136425,743	45044,1644	51
Residual	-29932,807	42186,9883	,000000	15491,2968	51
Valor pronosticado tip.	-2,324	1,187	,000	1,000	51
Residuo típ.	-1,750	2,466	,000	,906	51

a. Variable dependiente: ASMs_ud

Tabla 5.4-11 Estadísticos sobre los residuos para detección de atípicos, para ASM_Ud.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

≠ **Detección de puntos influyentes:**

- El rango de valores para la **distancia de Mahalanobis** no es elevado, varía entre un mínimo equivalente al valor medio menos 0,85 σ y un máximo calculado como valor medio más 3,27 σ. Es decir un rango ±2 σ con sesgo hacia la derecha. Según se puede ver en la tabla 5.4-12
- Hay valores de la **distancia de Cook** ligeramente superiores al valor máximo calculado como 4 / (n-k-1) = 4 / (51-10-1)= 0,10. Pero muy inferiores a 1 por lo que no es peligrosa su influencia.
- **Medida de influencia:** (k+1)/n = (10+1)/51 =0,215686, valor muy inferior a 1 que corrobora la no influencia peligrosa de ningún valor. En la Tabla 5.4-12 el valor medio es 0,176 y el máximo 0,670.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	31734,1113	189899,250	136425,743	45044,1644	51
Valor pronosticado tip.	-2,324	1,187	,000	1,000	51
Error típico de valor pronosticado	4460,855	14202,556	7167,753	2475,390	51
Valor pronosticado corregido	27663,6309	191106,344	137569,578	45235,5512	51
Residual	-29932,807	42186,9883	,000000	15491,2968	51
Residuo típ.	-1,750	2,466	,000	,906	51
Residuo estud.	-2,270	2,645	-,023	1,038	51
Residuo eliminado	-66673,313	48684,6797	-1143,8353	21580,0761	51
Residuo eliminado estud.	-2,398	2,868	-,018	1,076	51
Dist. de Mahalanobis	2,419	33,482	8,824	7,551	51
Distancia de Cook	,000	1,004	,051	,154	51
Valor de influencia centrado	,048	,670	,176	,151	51

a. Variable dependiente: ASMs_ud

Tabla 5.4-12 Estadísticos sobre los residuos para puntos influyentes, para ASM_Ud.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Una vez realizados todos los contrastes, se puede dar por bueno el modelo de predicción de la variable respuesta o dependiente ASM_Ud en función de las diez variables explicativas o independientes utilizadas. Como además se ha podido comprobar el grado de significación de los diferentes términos, se toma como primera ecuación del modelo global la (8) del nuevo modelo ***ASM_Ud*** simplificado, que es:

$$\boldsymbol{ASM\_Ud} = 9{,}709\ E^{+05} + 5{,}338\ E^{+03} \cdot \boldsymbol{Pu} - 1{,}273\ E^{+02} \cdot \boldsymbol{Rg}$$

Siguiendo con la corroboración de la validez del modelo expresado en la ecuación anterior (8), se puede comprobar, la bondad del ajuste que en el gráfico 5.4-6 se refleja en la proximidad y coincidencia de tendencia de los valores calculados (Ajuste) frente a los reales (Observado) y siempre dentro de los intervalos de confianza (LCS – LCI), creados para el 95% de probabilidad.

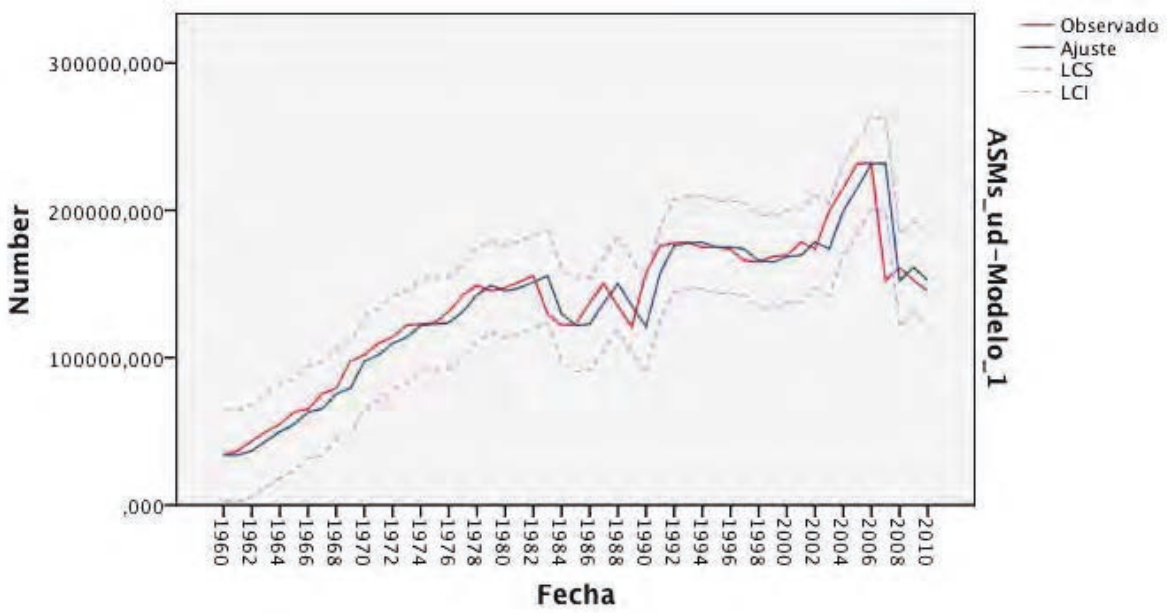


Gráfico 5.4-6 Gráfico del modelo ASM_Ud vs. valores observados con límites de confianza
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

A continuación se van a calcular los modelos del resto de indicadores de rendimiento de las aerolíneas en función de las mismas variables independientes siguiendo el mismo procedimiento y los mismos contrastes, eliminando como es lógico la mayor parte de las explicaciones teóricas incluidas en este.

5.4.2. RPM_Ud: Revenue Passenger Miles per Unit (Aircraft).

1. **Objetivo:** Ajustar un modelo lineal que permita predecir el indicador RPM_Ud (Revenue Passenger Miles per Unit – Millas recorridas por una aeronave por nº de asientos con ocupante de pago) en función de la longitud total de la aeronave, el ancho del fuselaje, la superficie alar, el número de motores, la potencia unitaria de cada uno de estos motores, el número de pasajeros que puede transportar la aeronave en su configuración de máxima capacidad, número de tripulantes de cabina, alcance de la aeronave, velocidad de crucero y peso máximo al despegue.
2. **Variable dependiente:** Revenue Passenger Miles per Unit (Aircraft): RPM_Ud.
3. **Variables independientes:**
   a. Longitud total de la aeronave: Lt en (m).
   b. Ancho del fuselaje: A (m).
   c. Superficie alar: SupAl (m^2).
   d. Número de motores: NºM.
   e. Potencia unitaria de cada motor: PotUd (kN).
   f. Número de pasajeros en su configuración de máxima capacidad: PaxMax.
   g. Número de tripulantes de cabina: CREW.
   h. Alcance de la aeronave: Rg (km).
   i. Velocidad de crucero: Vcru.
   j. Peso máximo al despegue: MTOW (t).

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m	PaxMax	Introducir

Variable dependiente: RevenuesPaxMiles_Ud

b. Alcanzado límite de tolerancia = ,000.

Tabla 5.4-13 Tabla resumen del SPSS del análisis lineal de regresión multivariante – RPM_Ud
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig	Intervalo de confianza (95,0% para B)	
		No estandarizados		Tipificados				
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	6,412E+05	3,277E+05		1,957	0,057	-2,057E+04	1,303E+06
	Lt_m	3,604E+03	1,209E+04	0,412	0,298	0,767	-2,082E+04	2,803E+04
	A_m	-1,781E+05	9,387E+04	-1,648	-1,897	0,065	-3,676E+05	1,150E+04
	SupAl_m2	7,107E+03	3,169E+03	3,048	2,242	0,03	7,058E+02	1,351E+04
	NºM	-1,669E+04	2,359E+04	-0,206	-0,708	0,483	-6,433E+04	3,095E+04
	PotUd_kN	5,869E+03	1,707E+03	5,362	3,439	0,001	2,423E+03	9,316E+03
	Crew	4,211E+03	1,994E+04	0,07	0,211	0,834	-3,605E+04	4,447E+04
	Rg_Km	-9,773E+01	2,828E+01	-1,006	-3,456	0,001	-1,548E+02	-4,062E+01
	Vcru	-5,594E+02	4,114E+02	-1,622	-1,36	0,181	-1,390E+03	2,715E+02
	MTOW_t	-8,042E+03	4,476E+03	-3,936	-1,797	0,08	-1,708E+04	9,975E+02

a. Variable dependiente: RPMs_Ud

Tabla 5.4-14 Coeficientes Modelo regresión lineal multivariante calculados por SPSS 20 – RPM_Ud.
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Los coeficientes de la ecuación del modelo de regresión lineal multivariante que permiten hallar el valor del indicador RPM_Ud en función de las variables explicativas o caracterizadoras son los que están en la columna B (Coeficientes no estandarizados), de manera que aparecen sucesivamente, el término independiente seguido del coeficiente de la variable explicativa de la columna —Modelo", por lo que es posible presentar la ecuación (14):

$$\boldsymbol{RPM_{Ud}} = 6.412\ E^{+05} + 3{,}604\ E^{+03} \cdot \boldsymbol{Lt} - 1{,}781\ E^{+05} \cdot \boldsymbol{A} + 7{,}107\ E^{+03} \cdot \boldsymbol{Sa} +$$

$$-1{,}669\ E^{+04} \cdot \boldsymbol{N} + 5{,}869\ E^{+03} \cdot \boldsymbol{Pu} + 4{,}211\ E^{+03} \cdot \boldsymbol{Cr} - 9{,}773\ E^{+01} \cdot \boldsymbol{Rg} - 5{,}594\ E^{+02} \cdot \boldsymbol{Vc} - 8{,}0423\ E^{+03} \cdot \boldsymbol{Mtow}$$

4. Inferencia sobre el modelo: validación del modelo multivariante

Como se explicó anteriormente, el significado de los parámetros que figura como contraste en primer lugar, está asegurado por el proceso de selección de los mismos. Por lo que procede ahora es ver la **significación estadística de la ecuación y de los parámetros,** para seguir luego con el resto.

a. **Significación individual de las variables:** Recordar que la utilidad de este proceso es verificar si cada variable aporta información significativa al análisis y que depende de las interrelaciones entre las variables y no es concluyente.

El contraste de hipótesis ($\boldsymbol{X_j^m}$):

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_j = 0}$$
$$H_1: \quad \boldsymbol{\beta_j \neq 0}$$

Aceptar H_0 significa que la variable —nœaporta información significativa" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años, un número de variables explicativas o independientes de k=10 y una confianza del 95%, se obtuvo una t de Student (ver tabla 5.4-6, pág. 186, para t_{n-k-1}, es decir df=40) de t_{40}=2,021, de ello:

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	6,412E+05	3,277E+05		1,957	0,057
	Lt_m	3,604E+03	1,209E+04	0,412	0,298	0,767
	A_m	-1,781E+05	9,387E+04	-1,648	-1,897	0,065
	SupAl_m2	7,107E+03	3,169E+03	3,048	2,242	0,03
	NºM	-1,669E+04	2,359E+04	-0,206	-0,708	0,483
	PotUd_kN	5,869E+03	1,707E+03	5,362	3,439	0,001
	Crew	4,211E+03	1,994E+04	0,07	0,211	0,834
	Rg_Km	-9,773E+01	2,828E+01	-1,006	-3,456	0,001
	Vcru	-5,594E+02	4,114E+02	-1,622	-1,36	0,181
	MTOW_t	-8,042E+03	4,476E+03	-3,936	-1,797	0,08

a. Variable dependiente: RPMs_Ud

Tabla 5.4-15 Análisis de significación individual de las variables - RPM.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que sólo son significativas las variables de Superficie Alar en metros cuadrados, la Potencia Unitaria de los motores en kN y el alcance en kilómetros, ya que el valor absoluto de la columna t de la tabla debe ser mayor o igual que la t_{40} obtenida de la tabla. Considerando que hay una variable excluida se podría evaluar t_{41} dando el mismo resultado. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig", es cero o prácticamente cero, lo que corrobora la significación de estas variables explicativas.

De esta manera la ecuación del modelo RPM_Ud, se simplificaría al considerar sólo tres variables independientes de las diez posibles, ya que la variable Paxmax fue excluida por colinealidad, es decir, depender linealmente del resto de variables.

b. Significación de la constante: con este proceso se pretende verificar si la variable dependiente tiene media 0 cuando las variables explicativas se anulan.

En el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \beta_0 = 0$$
$$H_1: \quad \beta_0 \neq 0$$

Aceptar H_0 significa que —noes conveniente incluir un término constante" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años y una confianza del 95%, se obtiene una t de Student (ver tabla 5.4-8, pág. 188, para t_{n-2}, es decir df=49) de t_{49}=2,0102, que se calcula interpolando linealmente t_{50}=2,009 y t_{40}=2,021.

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	6,412E+05	3,277E+05		1,957	0,057
	Lt_m	3,604E+03	1,209E+04	0,412	0,298	0,767
	A_m	-1,781E+05	9,387E+04	-1,648	-1,897	0,065
	SupAl_m2	7,107E+03	3,169E+03	3,048	**2,242**	0,03
	NºM	-1,669E+04	2,359E+04	-0,206	-0,708	0,483
	PotUd_kN	5,869E+03	1,707E+03	5,362	**3,439**	0,001
	Crew	4,211E+03	1,994E+04	0,07	0,211	0,834
	Rg_Km	-9,773E+01	2,828E+01	-1,006	**-3,456**	0,001
	Vcru	-5,594E+02	4,114E+02	-1,622	-1,36	0,181
	MTOW_t	-8,042E+03	4,476E+03	-3,936	-1,797	0,08

a. Variable dependiente: RPMs_Ud

Tabla 5.4-16 Análisis de significación del término independiente - RPM.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que t=1,957 < t_{49}=2,0102. Es decir, el valor es menor al de la tabla por lo que **no habría que incluir la constante en el modelo, pero su proximidad es tan grande que** unido a que el valor de la columna "Sig" es un valor cercano a cero, recomendaría su inclusión, por la alta probabilidad de que sea significativa.

De esta manera la ecuación (15) del nuevo modelo ***RPM_Ud*** simplificado es:

$$RPM_{Ud} = 6.412\ E^{+05} + 7{,}107\ E^{+03} \cdot Sa + 5{,}869\ E^{+03} \cdot Pu - 9{,}773\ E^{+01} \cdot Rg$$

c. **Bondad del ajuste:** para este análisis se descomponía la variabilidad en función de la fuente de dicha variabilidad, es decir se comparaba la variabilidad del modelo y la residual y se calculaban con las ecuaciones 10 y 11, los **Coeficientes de determinación** R^2, donde R era el Coeficiente de correlación lineal múltiple e indicaba la mayor correlación entre Y (variable dependiente o de respuesta) y las combinaciones lineales de las variables explicativas o independientes y el de **determinación corregido** $\bar{R}^2$ porque R^2 sobrevaloraba la bondad del ajuste.

$$R^2 = \frac{VE}{VT} = 1 - \frac{VNE}{VT} \qquad (10) \qquad\qquad \bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} R^2 \qquad (11)$$

Recordando que n sería el número de casos, para este estudio 51 que son los años estudiados y k sería el número de variables independientes o explicativas, que en este caso son 10, aunque en los cálculos de este indicador RPM_Ud debería utilizarse 9 porque una de las variables ha sido excluida por colinealidad (PaxMax) según se ve en la tabla adjunta proporcionada por el SPSS.

Variables excluidas[a]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad		
						Tolerancia	FIV	Tolerancia mínima
1	PaxMax	9,322[b]	1,835	,074	,279	7,628E-005	13109,270	7,628E-005

a. Variable dependiente: RPMs_ud

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Aplicando ahora al caso de estudio las ecuaciones 10 y 11, se obtienen los valores:

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,956[a]	,915	,896	12898,4069	,915	48,833	9	41	,000	,972

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: RPMs_ud

Como $R^2 = 0{,}915$, el indicador RPM_Ud queda explicado en un 91,5% por las variables explicativas según el modelo lineal considerado, lo cual en principio asegura el éxito del modelo para este indicador. El coeficiente corregido $\bar{R}^2 = 0{,}896$, que también es un excelente valor de casi el 90 %, que confirma lo anterior.

d. Contraste de regresión (ANOVA): se verificará que de forma conjunta las variables explicativas aportan información en la explicación de la variable de respuesta y el modelo es relevante.

Recordar que en el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_k = 0}$$
$$H_1: \quad Algún\ \boldsymbol{\beta_j \neq 0}$$

aceptar $\boldsymbol{H_0}$ significaba que –las variables explicativas no están relacionadas linealmente con la variable de respuesta" en el análisis de regresión realizado y el modelo no valía por irrelevante.

Es decir, si el estadístico de Fischer $F_{k,n-k-1}$ es menor que el valor calculado según la ecuación (12) de la página 190 y su significación es cero o prácticamente cero se puede rechazar $\boldsymbol{H_0}$.

ANOVA[a]

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	7,312E+10	9	8,124E+9	48,833	,000[b]
	Residual	6,821E+9	41	166368900		
	Total	7,994E+10	50			

a. Variable dependiente: RPMs_ud

b. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Al 5% se rechaza la hipótesis nula $\boldsymbol{H_0}$ por lo que las variables explicativas influyen de forma conjunta y lineal sobre la variable de respuesta. En la tabla 5.4-9 de la *Distribución-F* de Fischer de la página 191 se puede comprobar que el valor de $F_{9,41} = 1{,}34$ que es muy inferior al calculado por SPSS para este modelo, lo que en otros términos permite decir que la regresión considerada globalmente explica las variaciones intramuestrales de la variable endógena.

e. Predicción. Bandas de confianza: en el gráfico 5.4-7 se puede observar la bondad de la predicción, con unos índices de confianza para la media muy altos. Y apenas hay valores fuera de las bandas de confianza del 95%, corroborando como el resto de contrastes la bondad del modelo.

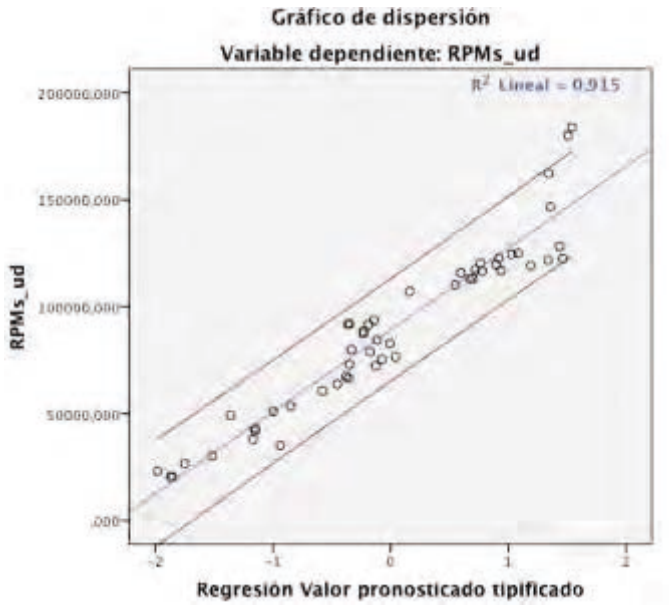


Gráfico 5.4-7 Gráfico de dispersión RPM_Ud vs. Valor pronosticado tipificado
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

f. Análisis de los residuos:

1. **Normalidad de los residuos:** dentro de las herramientas de análisis disponibles en SPSS 20, se van a utilizar el histograma y el gráfico probabilístico normal para verificar que efectivamente existe normalidad en los residuos.

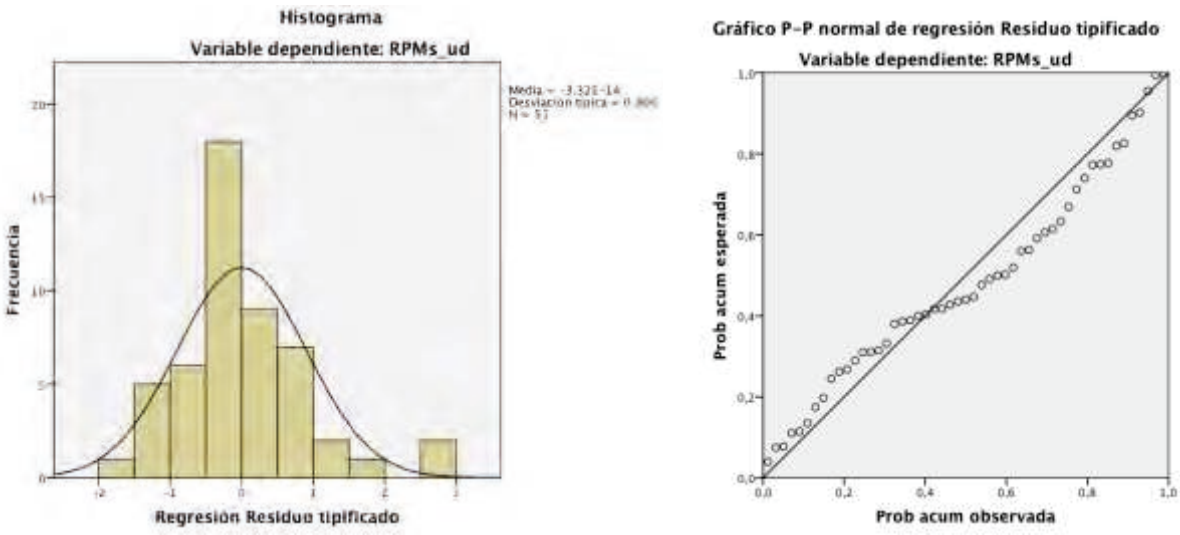


Gráfico 5.4-8/9 Histograma y gráfico probabilístico normal de los residuos tipificados – RPM_Ud.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

En los gráficos se evidencia una tendencia a la normalidad suficiente, en comparación con una distribución normal (unimodal, simétrica y acampanada) señala similitudes aceptables.

2. **No autocorrelación:** hace referencia a la inercia de una observación a otra que pueda indicar la no independencia entre los residuos. El Test de Durbin-Watson permite evaluar si existe autocorrelación en una Regresión lineal, sea simple o múltiple.
   Se calcula el estadístico de Durbin-Watson d como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}(e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n} e_t^2} \qquad (13)$$

Recordar que el contraste de hipótesis tiene como Hipótesis nula que la autocorrelación es cero frente a la alternativa que afirma que es distinta de cero:

$$H_0: \quad \rho = 0 \quad \boldsymbol{no\ hay\ autocorrelación}$$
$$H_1: \quad \rho \neq 0 \quad \boldsymbol{si\ hay\ autocorrelació}$$

de forma que

$$d < d_L \; se \; rechaza \; H_0$$
$$d > d_U \; no \; se \; rechaza \; H_0$$
$$d_L < d < d_U \; test \; no \; decisivo$$

Se procede al cálculo una vez ya se justificó en la variable ASM_Ud toda la metodología.

En las tablas pueden verse los valores críticos de Durbin-Watson que permiten tomar la decisión de mantener la Hipótesis nula, pasar a la Hipótesis alternativa o permite estar en una zona de indecisión, buscando para *Critical Values for the Durbin-Watson Test: 5% Significance Level T=6 to 100, K=2 to 21 (K <= T-4) K no intercept* en el link de la Universidad de Standford (http://web.stanford.edu/~clint/bench/dw05a.htm), se ha obtenido para T=51 y K=9 unos valores de d_L=0,9274 y d_U=2,2174. Si se tiene en cuenta que el valor calculado con la expresión (13) por el software SPSS-20 es d =0,972; se puede colegir que $d > d_L$ la prueba no es concluyente y el test no se considera decisivo.

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error tip. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,956[a]	,915	,896	12898,4069	,915	48,833	9	41	,000	,972

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: RPMs_ud

3. **Homocedasticidad:** hace referencia a la constancia de los residuos para los valores que van tomando las variables independientes. Recordar que como se explicó en la primer KPI estudiada (ASM_Ud), cuando el término de perturbación es homocedástico los residuos se comportan igual independientemente de los valores de las variables explicativas.

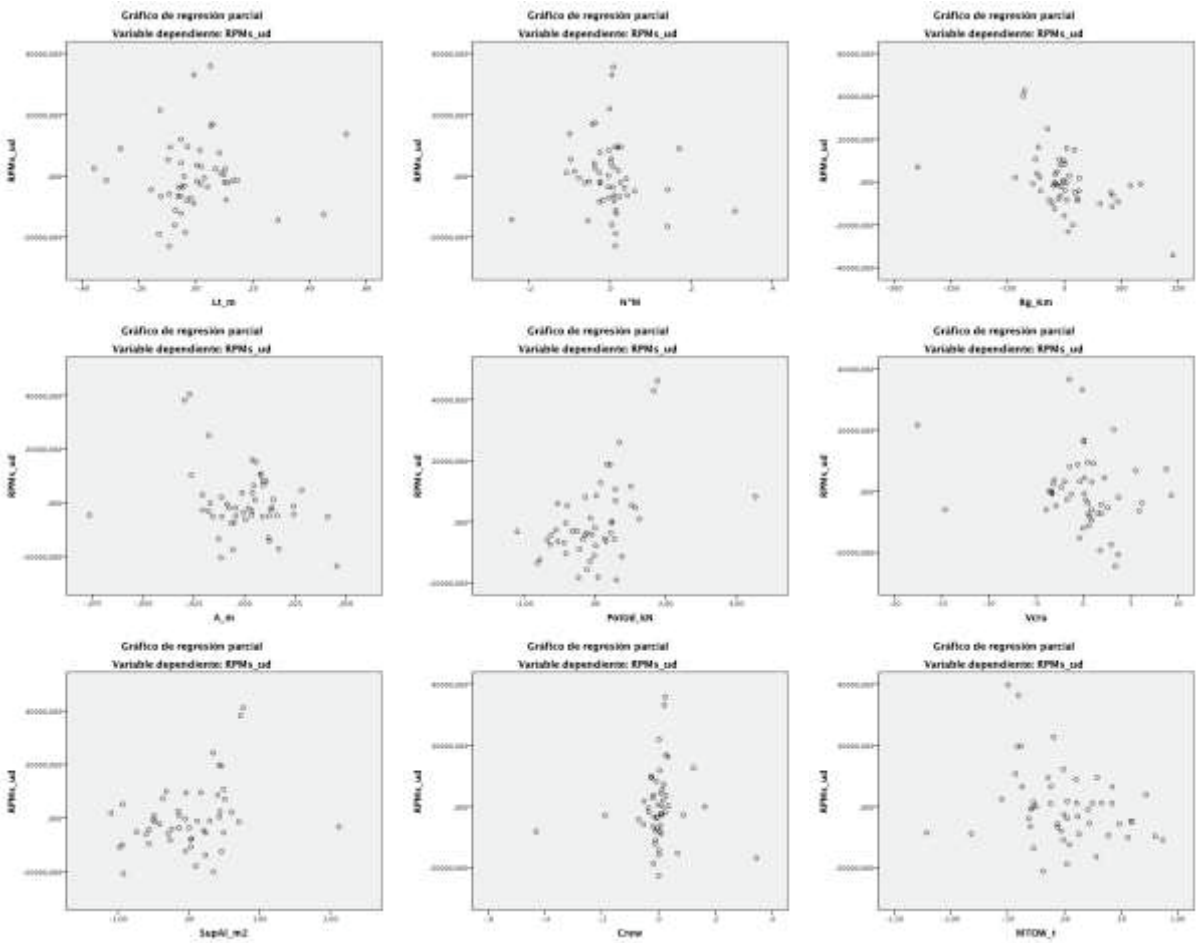


Gráfico 5.4-10 Gráficos d dispersión: regresiones parciales v. explicativas vs. v. respuesta–RPM_Ud
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

La aleatoriedad garantiza la homocedasticidad, porque si se viera alguna tendencia en función de las diferentes variables explicativas habría heterocedasticidad para esa variable. Lo que significaría un comportamiento de la varianza no constante en el término de perturbación. A la vista de los gráficos se puede aceptar la hipótesis de homocedasticidad en los residuos.

4. **Falta de linealidad:** hace referencia a las posibles desviaciones de los datos desde el modelo lineal que se está ajustando.

Como se comentó en el análisis del primer KPI (ASM_Ud), una forma sencilla de analizar la existencia de relación lineal entre las variables en el modelo especificado consiste en la observación del gráfico resultante de representar sobre un plano los valores de los errores de la regresión (residuos tipificados o estudentizados) con los valores ajustados o pronosticados de la endógena (Gráfico 5.4-11). Aunque también se pueden observar los gráficos de la variable respuesta con cada una de las variables explicativas (ver el apartado anterior el gráfico 5.4-10). Si en cualquiera de estos gráficos se apreciara un comportamiento sistemático, se podría sospechar que la especificación lineal no es la más adecuada.

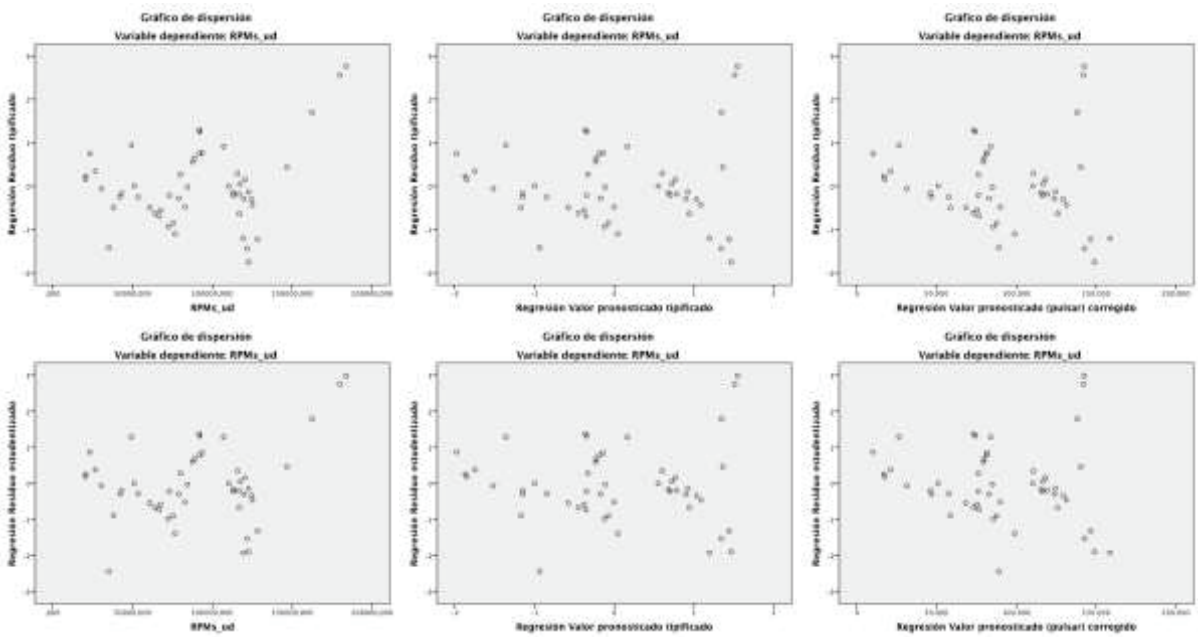


Gráfico 5.4-11 Gráficos de dispersión de regresiones v.endógena y valores pronosticados corregidos y sin corregir vs. residuos tipificados y estudentizados, para RPM_Ud.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Como se puede observar no existe comportamiento sistemático lo cual garantiza la falta de linealidad.

5. **No multicolinealidad:** recordar que hace referencia a la posible colinealidad, que es la asociación, medida como correlación, entre dos variables explicativas (el término multicolinealidad se utiliza para tres o más variables explicativas). La utilización de varias variables como predictores, hace necesaria la evaluación de la correlación múltiple entre las variables independientes como medio de evaluar la multicolinealidad. [1]

El **impacto de la multicolinealidad** y la justificación estadística de la metodología, se describe en los cálculos del primer KPI (ASM_Ud).

El software SPSS-20 que se ha utilizado para esta tesis calcula el **índice de condicionamiento** y la **matriz de descomposición de la varianza del coeficiente de regresión** además de unos estimadores que son el **FIV** (factor de inflación de la varianza) y los valores de la **tolerancia.**

Siguiendo el procedimiento ya explicado en sus **dos partes**:

1. **Identificar los índices de condicionamiento que estén por encima de un valor límite,** habitualmente con 30 como valor más utilizado. Por ello se buscarán los índices de condicionamiento que estén por encima del umbral: 30.
2. Para todos los índices de condicionamiento que excedan el umbral, identificar las variables con proporciones de varianza por encima del 90%.

Diagnósticos de colinealidad[a]

Modelo	Dimensión	Autovalores	Índice de condición	Proporciones de la varianza									
				(Constante)	Lt_m	A_m	SupAl_m2	N°M	PotUd_kN	Crew	Rg_Km	Vcru	MTOW_t
1	1	9,751	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	,221	6,649	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	3	,022	20,891	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,00
	4	,004	49,931	,00	,00	,00	,00	,01	,01	,05	,00	,00	,00
	5	,002	72,521	,00	,00	,00	,00	,06	,00	,01	,00	,00	,00
	6	,001	131,866	,00	,00	,00	,00	,57	,00	,64	,04	,00	,00
	7	,000	297,907	,02	,01	,10	,00	,08	,00	,20	,14	,05	,00
	8	2,115E-005	678,968	,51	,03	,32	,01	,14	,08	,01	,34	,22	,06
	9	7,823E-006	1116,455	,45	,95	,09	,00	,01	,03	,01	,00	,69	,15
	10	5,979E-006	1277,027	,02	,01	,50	,99	,12	,88	,08	,47	,03	,79

a. Variable dependiente: RPMs_ud

>30

>90%

Tabla 5.4-17 Diagnósticos de multicolinealidad: índices de condicionamiento y matriz de proporciones de la varianza, para RPM_Ud.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Habrá multicolinealidad cuando un índice de condicionamiento identificado en el primer paso

por encima del valor del umbral, tiene en cuenta una proporción sustancial de la varianza de dos o más coeficientes. Se puede ver en la tabla 5.4-17 de diagnóstico de colinealidad de SPSS-20 que hay 7 índices de condicionamiento claramente por encima de 30, correspondientes a las dimensiones de 4 a 10, pero se puede ver en la matriz de descomposición de la varianza (proporciones de la varianza), que ningún índice de condicionamiento tiene dos o mas coeficientes con una proporción de la varianza por encima del 90%. De hecho se han marcado los dos únicos casos que es así y se corresponden a dos coeficientes índices distintos. Por ello no se observa colinealidad y se puede seguir con el proceso de validación y contraste.

g. Datos anómalos y Medidas de influencia: el objetivo es detectar datos anómalos y datos influyentes, entendiendo como datos anómalos o atípicos a los individuos cuyo residuos tipificado es superior a 3 (en valor absoluto) y como datos influyentes a aquellos individuos cuya omisión produce cambios notables en los resultados del análisis. En nuestro caso los individuos son los aviones tipo de cada año.

A partir de estos conceptos definidos en el Hair [1], ya explicados y utilizados en el apartado correspondiente del estudio del primer KPI y utilizando la herramienta estadística SSPS-20 como hasta ahora, se calcularán los siguientes:

≠ **<u>Detección de residuos atípicos:</u>** Los valores tipificados de los residuos deben estar entre -3 y 3. Según se puede ver en la tabla 5.4.18, no existe ningún residuo tipificado fuera de tolerancia ya que están en el intervalo [-1,749 ; 2,765]. Algo que se podía ver ya en el histograma representando en el gráfico 5.4-8.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	13529,6777	148113,844	89166,4296	38240,8816	51
Residual	-22564,977	35666,2852	,000000	11680,0042	51
Valor pronosticado tip.	-1,978	1,541	,000	1,000	51
Residuo típ.	-1,749	2,765	,000	,906	51

a. Variable dependiente: RPMs_ud

Tabla 5.4-18 Estadísticos sobre los residuos para detección de atípicos, para RPM_Ud.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

≠ **Detección de puntos influyentes:**

- El rango de valores para la **distancia de Mahalanobis** no es elevado, varía entre un mínimo equivalente al valor medio menos 0,85 σ y un máximo calculado como valor medio más 3,27 σ. Es decir un rango ±2 σ con sesgo hacia la derecha. Según se puede ver en la tabla 5.4-19
- Hay valores de la **distancia de Cook** ligeramente superiores al valor máximo calculado como 4 / (n-k-1) = 4 / (51-10-1)= 0,10. Pero muy inferiores a 1 por lo que no es peligrosa su influencia.
- **Medida de influencia:** (k+1)/n = (10+1)/51 =0,215686, valor muy inferior a 1 que corrobora la no influencia peligrosa de ningún valor. En la Tabla 5.4-19 el valor medio es 0,176 y el máximo 0,670.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	13529,6777	148113,844	89166,4296	38240,8816	51
Valor pronosticado tip.	-1,978	1,541	,000	1,000	51
Error típico de valor pronosticado	3363,360	10708,329	5404,285	1866,375	51
Valor pronosticado corregido	10143,2021	158649,547	90220,9021	38739,5347	51
Residual	-22564,977	35666,2852	,000000	11680,0042	51
Residuo típ.	-1,749	2,765	,000	,906	51
Residuo estud.	-2,435	2,976	-,029	1,048	51
Residuo eliminado	-53932,160	41302,2852	-1054,4725	16672,8427	51
Residuo eliminado estud.	-2,601	3,319	-,021	1,098	51
Dist. de Mahalanobis	2,419	33,482	8,824	7,551	51
Distancia de Cook	,000	1,155	,057	,180	51
Valor de influencia centrado	,048	,670	,176	,151	51

a. Variable dependiente: RPMs_ud

Tabla 5.4-19 Estadísticos sobre los residuos para puntos influyentes, para RPM_Ud.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Una vez realizados todos los contrastes, se puede dar por bueno el modelo de predicción de la variable respuesta o dependiente RPM_Ud en función de las diez variables explicativas o independientes utilizadas. Como además se ha podido comprobar el grado de significación de los diferentes términos, se toma como primera ecuación del modelo global la (15) del nuevo modelo ***RPM_Ud*** simplificado, que es:

$$\boldsymbol{RPM_{Ud}} = 6.412\ E^{+05} + 7{,}107\ E^{+03} \cdot Sa + 5{,}869\ E^{+03} \cdot Pu - 9{,}773\ E^{+01} \cdot Rg$$

Se puede comprobar, también en este caso, la bondad del ajuste que en el gráfico 5.4-12 se refleja en la proximidad y coincidencia de tendencia de los valores calculados (Ajuste) frente a los reales (Observado) y siempre dentro de los intervalos de confianza (LCS – LCI), creados para el 95% de probabilidad.

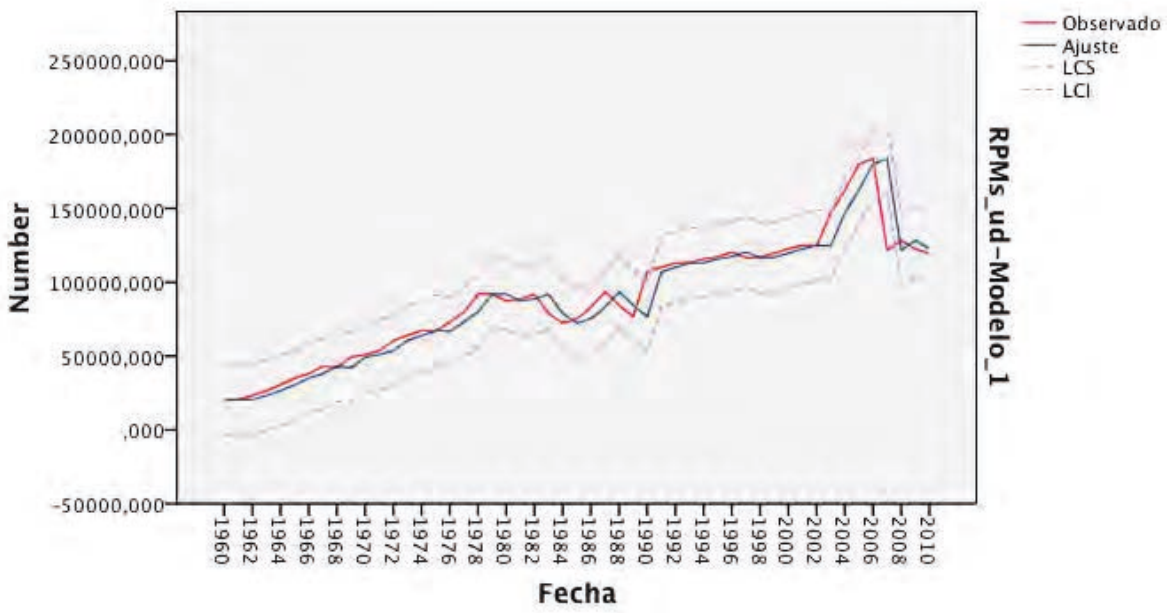


Gráfico 5.4-12 Gráfico del modelo RPM vs. valores observados con límites de confianza
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Este sería el segundo indicador modelado, a continuación se seguirán calculando los modelos del resto de indicadores de rendimiento de las aerolíneas en función de las mismas variables independientes y con el mismo procedimiento y los mismos contrastes.

5.4.3. PaxLF_%: Passengers Load Factor en %.

1. **Objetivo:** Ajustar un modelo lineal que permita predecir el indicador PaxLF_% (Passengers Load Factor en % – Factor de ocupación de la aeronave en %) en función de la longitud total de la aeronave, el ancho del fuselaje, la superficie alar, el número de motores, la potencia unitaria de cada uno de estos motores, el número de pasajeros que puede transportar la aeronave en su configuración de máxima capacidad, número de tripulantes de cabina, alcance de la aeronave, velocidad de crucero y peso máximo al despegue.
2. **Variable dependiente:** Passengers Load Factor en % (Pax_LoadFactor_%).
3. **Variables independientes:**
    a. Longitud total de la aeronave: Lt en (m).
    b. Ancho del fuselaje: A (m).
    c. Superficie alar: SupAl (m^2).
    d. Número de motores: NºM.
    e. Potencia unitaria de cada motor: PotUd (kN).
    f. Número de pasajeros en su configuración de máxima capacidad: PaxMax.
    g. Número de tripulantes de cabina: CREW.
    h. Alcance de la aeronave: Rg (km).
    i. Velocidad de crucero: Vcru.
    j. Peso máximo al despegue: MTOW (t).

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m	PaxMax	Introducir

a. Variable dependiente: Pax_LoadFactor_%
b. Alcanzado límite de tolerancia = ,000.

Tabla 5.4-20 Tabla resumen del SPSS del análisis lineal de regresión multivariante – PaxLF_%
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig	Intervalo de confianza (95,0% para B)	
		No estandarizados		Tipificados				
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-21,322	48,950		-0,436	0,665	-120,178	77,533
	Lt_m	4,876	1,807	2,486	2,699	0,01	1,227	8,524
	A_m	5,790	14,022	0,239	0,413	0,682	-22,529	34,109
	SupAl_m2	1,578	0,473	3,017	3,334	0,002	0,622	2,535
	NºM	7,810	3,524	0,429	2,216	0,032	0,694	14,927
	PotUd_kN	1,301	0,255	5,298	5,104	0	0,786	1,816
	Crew	-4,902	2,978	-0,364	-1,646	0,107	-10,916	1,112
	Rg_Km	-0,010	0,004	-0,455	-2,347	0,024	-0,018	-0,001
	Vcru	-0,227	0,061	-2,928	-3,687	0,001	-0,351	-0,102
	MTOW_t	-3,186	0,669	-6,948	-4,765	0	-4,536	-1,835

a Variable dependiente: Pax_LoadFactor_%

Tabla 5.4-21 Coeficientes Modelo regresión lineal multivariante calculados por SPSS 20–PaxLF_%.
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Los coeficientes de la ecuación del modelo de regresión lineal multivariante que permiten hallar el valor del indicador Pax_LoadFactor_% en función de las variables explicativas o caracterizadoras son los que están en la columna B (Coeficientes no estandarizados), de manera que aparecen sucesivamente, el término independiente seguido del coeficiente de la variable explicativa de la columna –Modelo", así la ecuación resultante es (16):

$$\boldsymbol{PaxLF\_\%} = -21{,}322 + 4{,}876 \cdot \boldsymbol{Lt} + 5{,}790 \cdot \boldsymbol{A} + 1{,}578 \cdot \boldsymbol{Sa} +$$

$$+7{,}810 \cdot \boldsymbol{N} + 1{,}301 \cdot \boldsymbol{Pu} - 4{,}902 \cdot \boldsymbol{Cr} - 0{,}010 \cdot \boldsymbol{Rg} - 0{,}227 \cdot \boldsymbol{Vc} - 3{,}186 \cdot \boldsymbol{Mtow}$$

4. Inferencia sobre el modelo: validación del modelo multivariante

Como se explicó anteriormente, el significado de los parámetros que figura como contraste en primer lugar, está asegurado por el proceso de selección de los mismos. Por lo que procede ahora es ver la **significación estadística de la ecuación y de los parámetros,** para seguir luego con el resto.

a. **Significación individual de las variables:** Recordar que la utilidad de este proceso es verificar si cada variable aporta información significativa al análisis y que depende de las interrelaciones entre las variables y no es concluyente.

El contraste de hipótesis ($\boldsymbol{X_j^m}$):

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_j = 0}$$
$$H_1: \quad \boldsymbol{\beta_j \neq 0}$$

Aceptar H_0 significa que la variable —nœaporta información significativa" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años, un número de variables explicativas o independientes de k=10 y una confianza del 95%, se obtuvo una t de Student (ver tabla 5.4-6, pág. 186, para t_{n-k-1}, es decir df=40) de t_{40}=2,021, de ello:

Coeficientes[a]

Modelo	Coeficientes			t	Sig
	No estandarizados		Tipificados		
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	-21,322	48,950		-0,436	0,665
Lt_m	4,876	1,807	2,486	2,699	0,01
A_m	5,790	14,022	0,239	0,413	0,682
SupAl_m2	1,578	0,473	3,017	3,334	0,002
NºM	7,810	3,524	0,429	2,216	0,032
PotUd_kN	1,301	0,255	5,298	5,104	0
Crew	-4,902	2,978	-0,364	-1,646	0,107
Rg_Km	-0,010	0,004	-0,455	-2,347	0,024
Vcru	-0,227	0,061	-2,928	-3,687	0,001
MTOW_t	-3,186	0,669	-6,948	-4,765	0

a Variable dependiente: Pax_LoadFactor_%

Tabla 5.4-22 Análisis de significación individual de las variables – PaxLF_%.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que sólo no son significativas las variables de Ancho de la aeronave en metros y el número de tripulantes (crew), ya que el valor absoluto de la columna t de la tabla es menor que la t_{40} obtenida de la tabla. Considerando que hay una variable excluida se podría evaluar t_{41} dando el mismo resultado. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig" para las variables significativas, es cero o prácticamente cero, lo que corrobora su significación.

De esta manera la ecuación del modelo PaxLF_%, apenas se simplificaría al excluir a sólo dos variables independientes de las nueve consideradas, ya que la variable Paxmax fue excluida anteriormente por colinealidad, es decir, depender linealmente del resto de variables.

b. Significación de la constante: con este proceso se pretende verificar si la variable dependiente tiene media 0 cuando las variables explicativas se anulan.

En el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \beta_0 = 0$$
$$H_1: \quad \beta_0 \neq 0$$

Aceptar H_0 significa que —noes conveniente incluir un término constante" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años y una confianza del 95%, se obtiene una t de Student (ver tabla 5.4-8, pág. 188, para t_{n-2}, es decir df=49) de t_{49}=2,0102, que se calcula interpolando linealmente t_{50}=2,009 y t_{40}=2,021.

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-21,322	48,950		-0,436	0,665
	Lt_m	4,876	1,807	2,486	2,699	0,01
	A_m	5,790	14,022	0,239	0,413	0,682
	SupAl_m2	1,578	0,473	3,017	3,334	0,002
	NºM	7,810	3,524	0,429	2,216	0,032
	PotUd_kN	1,301	0,255	5,298	5,104	0
	Crew	-4,902	2,978	-0,364	-1,646	0,107
	Rg_Km	-0,010	0,004	-0,455	-2,347	0,024
	Vcru	-0,227	0,061	-2,928	-3,687	0,001
	MTOW_t	-3,186	0,669	-6,948	-4,765	0

a Variable dependiente: Pax_LoadFactor_%

Tabla 5.4-23 Análisis de significación del término independiente – PaxLF_%.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que t=-0,436 y por tanto $|t| < t_{49}$=2,0102. Es decir, el valor absoluto es inferior al de la tabla por lo que **no hay que incluir la constante en el modelo**. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig" ya no es un valor cercano a cero, lo que, corrobora su no significación.

De esta manera la ecuación (17) del nuevo modelo ***PaxLF_ %*** simplificado es:

$$\boldsymbol{PaxLF}\_\% = 4{,}876 \cdot \boldsymbol{Lt} + 1{,}578 \cdot \boldsymbol{Sa} + 7{,}810 \cdot \boldsymbol{N} + 1{,}301 \cdot \boldsymbol{Pu} - 0{,}010 \cdot \boldsymbol{Rg} - 0{,}227 \cdot \boldsymbol{Vc} - 3{,}186 \cdot \boldsymbol{Mtow}$$

c. **Bondad del ajuste:** para este análisis se descomponía la variabilidad en función de la fuente de dicha variabilidad, es decir se comparaba la variabilidad del modelo y la residual y se calculaban con las ecuaciones 10 y 11, los **Coeficientes de determinación** $\boldsymbol{R^2}$, donde R era el Coeficiente de correlación lineal múltiple e indicaba la mayor correlación entre Y (variable dependiente o de respuesta) y las combinaciones lineales de las variables explicativas o independientes y el de **determinación corregido** $\boldsymbol{\bar{R}^2}$ porque R^2 sobrevaloraba la bondad del ajuste.

$$R^2 = \frac{VE}{VT} = 1 - \frac{VNE}{VT} \qquad (10) \qquad\qquad \bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} R^2 \qquad (11)$$

Recordando que n sería el número de casos, para este estudio 51 que son los años estudiados y k sería el número de variables independientes o explicativas, que en este caso son 10, aunque en los cálculos de este indicador PaxLF_% debería utilizarse 9 porque una de las variables ha sido excluida por colinealidad (PaxMax) según se ve en la tabla adjunta proporcionada por el SPSS.

Variables excluidas[a]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad		
						Tolerancia	FIV	Tolerancia mínima
1	PaxMax	-,276[b]	-,078	,938	-,012	7,628E-005	13109,270	7,628E-005

a. Variable dependiente: Pax_LoadFactor_%

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Aplicando ahora al caso de estudio las ecuaciones 10 y 11, se obtienen los valores:

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,981[a]	,962	,954	1,92678	,962	115,918	9	41	,000	1,437

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: Pax_LoadFactor_%

Como $R^2 = 0{,}962$, el indicador PaxLF_% queda explicado en un 96,2% por las variables explicativas según el modelo lineal considerado, lo cual en principio asegura el éxito del modelo para este indicador. El coeficiente corregido $\bar{R}^2 = 0{,}954$, que también es un excelente valor del 95,4 %, que confirma lo anterior.

d. Contraste de regresión (ANOVA): se verificará que de forma conjunta las variables explicativas aportan información en la explicación de la variable de respuesta y el modelo es relevante.

Recordar que en el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_1} = \boldsymbol{\beta_2} = \cdots = \boldsymbol{\beta_k} = \mathbf{0}$$
$$H_1: \quad Algún\ \boldsymbol{\beta_j} \neq \mathbf{0}$$

aceptar $\boldsymbol{H_0}$ significaba que –las variables explicativas no están relacionadas linealmente con la variable de respuesta" en el análisis de regresión realizado y el modelo no valía por irrelevante.

Es decir, si el estadístico de Fischer $F_{k,n-k-1}$ es menor que el valor calculado según la ecuación (12) de la página 190 y su significación es cero o prácticamente cero se puede rechazar $\boldsymbol{H_0}$.

ANOVA[a]

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	3873,100	9	430,344	115,918	,000[b]
	Residual	152,212	41	3,712		
	Total	4025,312	50			

a. Variable dependiente: Pax_LoadFactor_%

b. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Al 5% se rechaza la hipótesis nula $\boldsymbol{H_0}$ por lo que las variables explicativas influyen de forma conjunta y lineal sobre la variable de respuesta. En la tabla 5.4-9 de la *Distribución-F* de Fischer de la página 191 se puede comprobar que el valor de $F_{9,41} = 1{,}34$ que es muy inferior al calculado por SPSS para este modelo, lo que en otros términos permite decir que la regresión considerada globalmente explica las variaciones intramuestrales de la variable endógena.

e. **Predicción. Bandas de confianza:** en el gráfico 5.4-13 se puede observar la bondad de la predicción, con unos índices de confianza para la media muy altos. Y apenas hay valores fuera de las bandas de confianza del 95%, corroborando como el resto de contrastes la bondad del modelo.

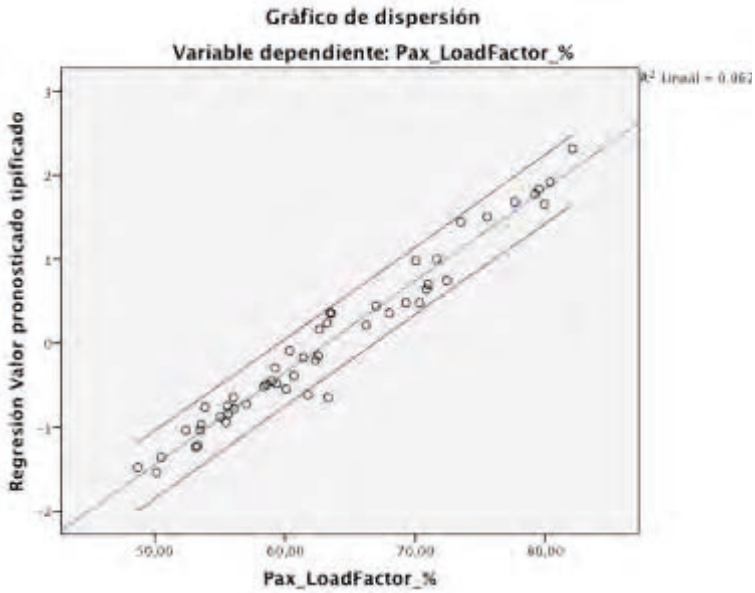


Gráfico 5.4-13 Gráfico de dispersión PaxLF_% vs. Valor pronosticado tipificado
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

f. Análisis de los residuos:

1. **Normalidad de los residuos:** dentro de las herramientas de análisis disponibles en SPSS 20, se van a utilizar el histograma y el gráfico probabilístico normal para verificar que efectivamente existe normalidad en los residuos.

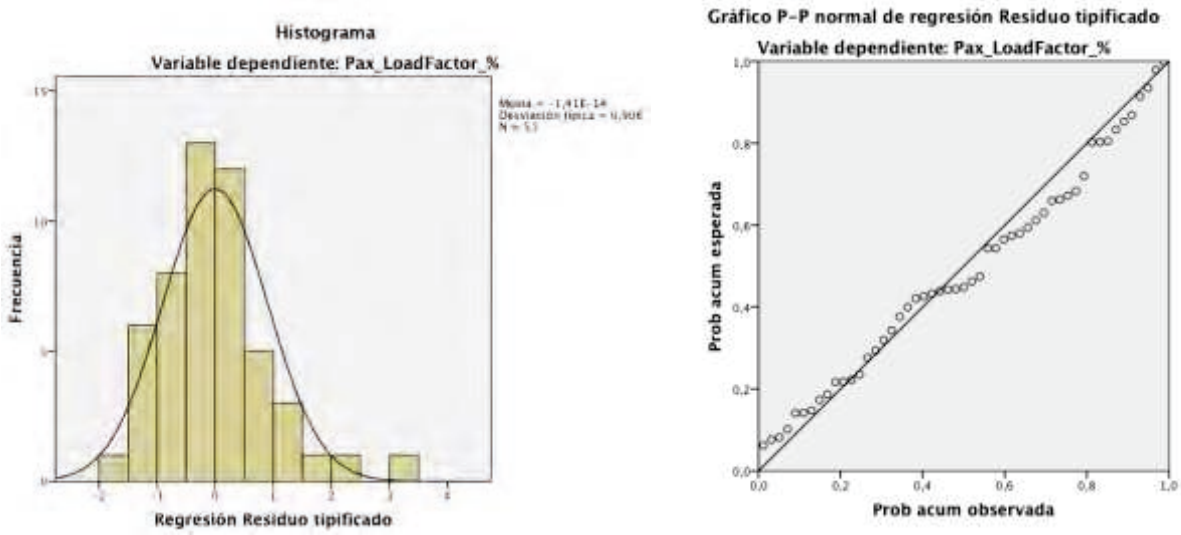


Gráfico 5.4-14/15 Histograma y gráfico probabilístico normal de residuos tipificados – PaxLF_%.

Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

En los gráficos se evidencia una tendencia a la normalidad suficiente, en comparación con una distribución normal (unimodal, simétrica y acampanada) señala similitudes aceptables.

2. **No autocorrelación:** hace referencia a la inercia de una observación a otra que pueda indicar la no independencia entre los residuos. El Test de Durbin-Watson permite evaluar si existe autocorrelación en una Regresión lineal, sea simple o múltiple.
   Se calcula el estadístico de Durbin-Watson d como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}(e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n} e_t^2} \qquad (13)$$

Recordar que el contraste de hipótesis tiene como Hipótesis nula que la autocorrelación es cero frente a la alternativa que afirma que es distinta de cero:

$$H_0: \quad \rho = 0 \quad \textit{no hay autocorrelación}$$
$$H_1: \quad \rho \neq 0 \quad \textit{si hay autocorrelació}$$

de forma que

$$d < d_L \; se \; rechaza \; H_0$$
$$d > d_U \; no \; se \; rechaza \; H_0$$
$$d_L < d < d_U \; test \; no \; decisivo$$

Se procede al cálculo una vez ya se justificó en la variable ASM_Ud toda la metodología.

En las tablas pueden verse los valores críticos de Durbin-Watson que permiten tomar la decisión de mantener la Hipótesis nula, pasar a la Hipótesis alternativa o permite estar en una zona de indecisión, buscando para *Critical Values for the Durbin-Watson Test: 5% Significance Level T=6 to 100, K=2 to 21 (K <= T-4) K no intercept* en el link de la Universidad de Standford (http://web.stanford.edu/~clint/bench/dw05a.htm), se ha obtenido para T=51 y K=9 unos valores de d_L=0,9274 y d_U=2,2174. Si se tiene en cuenta que el valor calculado con la expresión (13) por el software SPSS-20 es d =1,437; se puede colegir que la prueba no es concluyente y el test no se considera decisivo.

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,981[a]	,962	,954	1,92678	,962	115,918	9	41	,000	1,437

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: Pax_LoadFactor_%

3. **Homocedasticidad:** hace referencia a la constancia de los residuos para los valores que van tomando las variables independientes. Recordar que como se explicó en la primer KPI estudiada (ASM_Ud), cuando el término de perturbación es homocedástico los residuos se comportan igual independientemente de los valores de las variables explicativas.

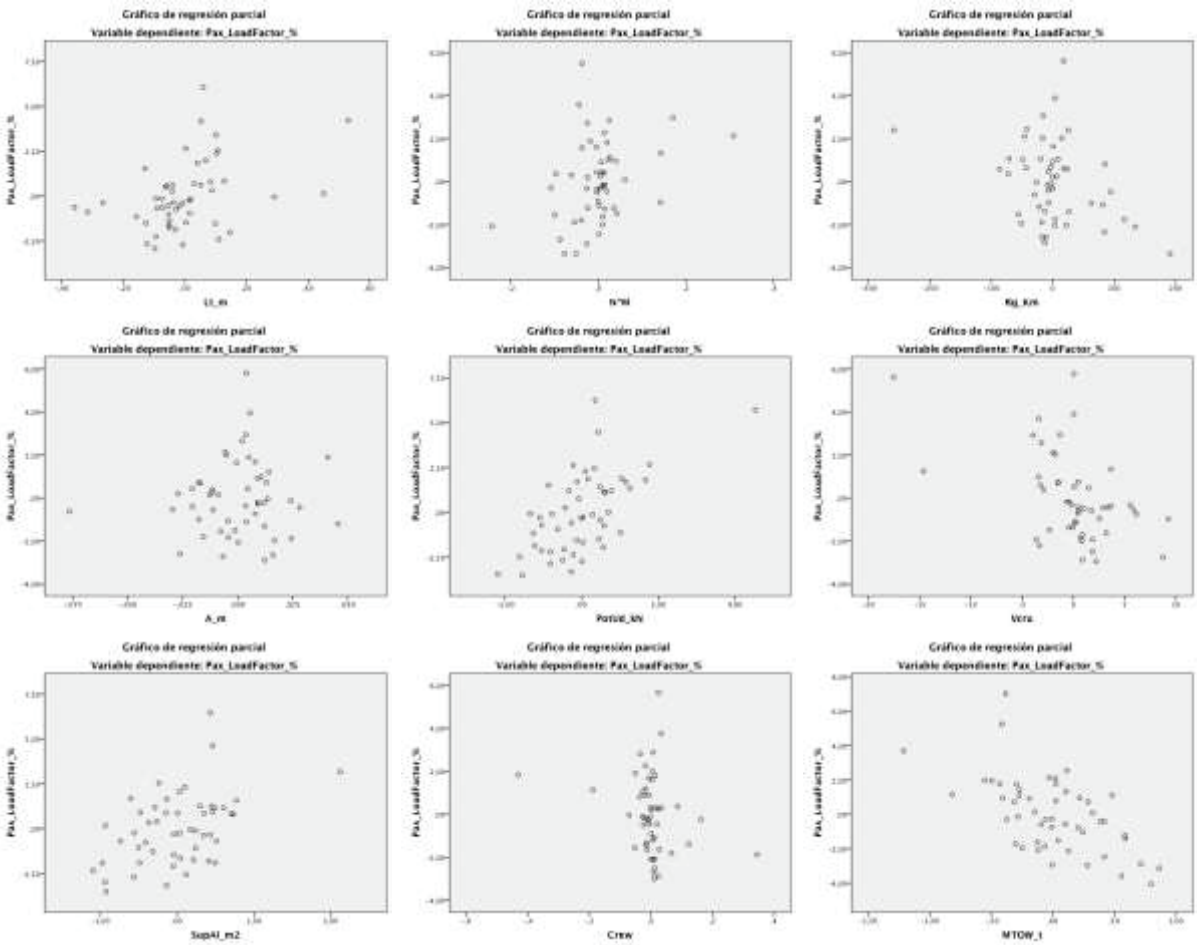


Gráfico 5.4-16 Gráficos de dispersión: regresiones parciales v. explicativas vs. v. respuesta–PaxLF_%
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

La aleatoriedad garantiza la homocedasticidad, porque si se viera alguna tendencia en función de las diferentes variables explicativas habría heterocedasticidad para esa variable. Lo que significaría un comportamiento de la varianza no constante en el término de perturbación. A la vista de los gráficos se puede aceptar la hipótesis de homocedasticidad en los residuos.

4. **Falta de linealidad:** hace referencia a las posibles desviaciones de los datos desde el modelo lineal que se está ajustando.

Como se comentó en el análisis del primer KPI (ASM_Ud), una forma sencilla de analizar la existencia de relación lineal entre las variables en el modelo especificado consiste en la observación del gráfico resultante de representar sobre un plano los valores de los errores de la regresión (residuos tipificados o estudentizados) con los valores ajustados o pronosticados de la endógena (Gráfico 5.4-17). Aunque también se pueden observar los gráficos de la variable respuesta con cada una de las variables explicativas (ver el apartado anterior el gráfico 5.4-16). Si en cualquiera de estos gráficos se apreciara un comportamiento sistemático, se podría sospechar que la especificación lineal no es la más adecuada.

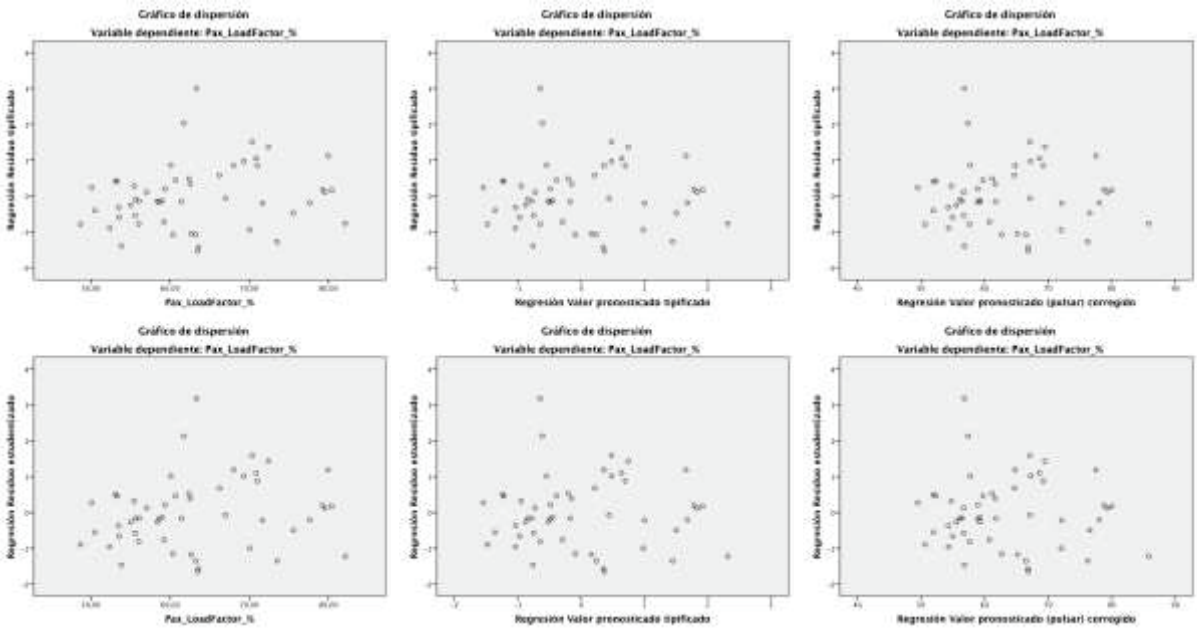


Gráfico 5.4-17 Gráficos de dispersión de regresiones v.endógena y valores pronosticados corregidos y sin corregir vs. residuos tipificados y estudentizados, para PaxLF_%.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Como se puede observar no existe comportamiento sistemático lo cual garantiza la falta de linealidad.

5. **No multicolinealidad:** recordar que hace referencia a la posible colinealidad, que es la asociación, medida como correlación, entre dos variables explicativas (el término multicolinealidad se utiliza para tres o más variables explicativas). La utilización de varias variables como predictores, hace necesaria la evaluación de la correlación múltiple entre las variables independientes como medio de evaluar la multicolinealidad. [1]

El **impacto de la multicolinealidad** y la justificación estadística de la metodología, se describe en los cálculos del primer KPI (ASM_Ud).

El software SPSS-20 que se ha utilizado para esta tesis calcula el **índice de condicionamiento** y la **matriz de descomposición de la varianza del coeficiente de regresión** además de unos estimadores que son el **FIV** (factor de inflación de la varianza) y los valores de la **tolerancia.**

Siguiendo el procedimiento ya explicado en sus **dos partes**:

1. **Identificar los índices de condicionamiento que estén por encima de un valor límite,** habitualmente con 30 como valor más utilizado. Por ello se buscarán los índices de condicionamiento que estén por encima del umbral: 30.
2. Para todos los índices de condicionamiento que excedan el umbral, identificar las variables con proporciones de varianza por encima del 90%.

Diagnósticos de colinealidad[a]

Modelo	Dimensión	Autovalores	Índice de condición	Proporciones de la varianza									
				(Constante)	Lt_m	A_m	SupAl_m2	N°M	PotUd_kN	Crew	Rg_Km	Vcru	MTOW_t
1	1	9,751	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	,221	6,649	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	3	,022	20,891	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,00
	4	,004	49,931	,00	,00	,00	,00	,01	,01	,05	,00	,00	,00
	5	,002	72,521	,00	,00	,00	,00	,06	,00	,01	,00	,00	,00
	6	,001	131,866	,00	,00	,00	,00	,57	,00	,64	,04	,00	,00
	7	,000	297,907	,02	,01	,10	,00	,08	,00	,20	,14	,05	,00
	8	2,115E-005	678,968	,51	,03	,32	,01	,14	,08	,01	,34	,22	,06
	9	7,823E-006	1116,455	,45	,95	,09	,00	,01	,03	,01	,00	,69	,15
	10	5,979E-006	1277,027	,02	,01	,50	,99	,12	,88	,08	,47	,03	,79

a. Variable dependiente: Pax_LoadFactor_%

>30 >90%

Tabla 5.4-24 Diagnósticos de multicolinealidad: índices de condicionamiento y matriz de proporciones de la varianza, para PaxLF_%.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Habrá multicolinealidad cuando un índice de condicionamiento identificado en el primer paso por encima del valor del umbral, tiene en cuenta una proporción sustancial de la varianza de dos o más coeficientes. Se puede ver en la tabla 5.4-24 de diagnóstico de colinealidad de SPSS-20 que hay 7 índices de condicionamiento claramente por encima de 30,

correspondientes a las dimensiones de 4 a 10, pero se puede ver en la matriz de descomposición de la varianza (proporciones de la varianza), que ningún índice de condicionamiento tiene dos o mas coeficientes con una proporción de la varianza por encima del 90%. De hecho se han marcado los dos únicos casos que es así y se corresponden a dos coeficientes índices distintos. Por ello no se observa colinealidad y se puede seguir con el proceso de validación y contraste.

g. **Datos anómalos y Medidas de influencia:** el objetivo es detectar datos anómalos y datos influyentes, entendiendo como datos anómalos o atípicos a los individuos cuyo residuos tipificado es superior a 3 (en valor absoluto) y como datos influyentes a aquellos individuos cuya omisión produce cambios notables en los resultados del análisis. En nuestro caso los individuos son los aviones tipo de cada año.

A partir de estos conceptos definidos en el Hair [1], ya explicados y utilizados en el apartado correspondiente del estudio del primer KPI y utilizando la herramienta estadística SSPS-20 como hasta ahora, se calcularán los siguientes:

≠ **Detección de residuos atípicos:** Los valores tipificados de los residuos deben estar entre -3 y 3. Según se puede ver en la tabla 5.4.25, prácticamente no existe ningún residuo tipificado fuera de tolerancia ya que aunque el máximo se aleja dos milésimas, están dentro del intervalo [-1,536 ; 3,002] que se considera suficientemente válido. En cualquier caso, esa pequeña fracción por encima de 3 se podía ver ya en el histograma representando en el gráfico 5.4-14 y se va a considerar no significativa.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	49,6394	83,5699	63,2194	8,80125	51
Residual	-2,95998	5,78377	,00000	1,74477	51
Valor pronosticado tip.	-1,543	2,312	,000	1,000	51
Residuo típ.	-1,536	3,002	,000	,906	51

a. Variable dependiente: Pax_LoadFactor_%

Tabla 5.4-25 Estadísticos sobre los residuos para detección de atípicos, para PaxLF_%.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

≠ **Detección de puntos influyentes:**

- El rango de valores para la **distancia de Mahalanobis** no es elevado, varía entre un mínimo equivalente al valor medio menos 0,8482 σ y un máximo calculado como valor medio más 3,2655 σ. Es decir un rango aproximado de ±2 σ con sesgo hacia la derecha. Según se puede ver en la tabla 5.4-26
- Hay valores de la **distancia de Cook** ligeramente superiores al valor máximo calculado como 4 / (n-k-1) = 4 / (51-10-1)= 0,10. Pero muy inferiores a 1 por lo que no es peligrosa su influencia.
- **Medida de influencia:** (k+1)/n = (10+1)/51 =0,215686, valor muy inferior a 1 que corrobora la no influencia peligrosa de ningún valor. En la Tabla 5.4-26 el valor medio es 0,176 y el máximo 0,670.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	49,6394	83,5699	63,2194	8,80125	51
Valor pronosticado tip.	-1,543	2,312	,000	1,000	51
Error típico de valor pronosticado	,502	1,600	,807	,279	51
Valor pronosticado corregido	49,4963	85,8425	63,2773	8,89000	51
Residual	-2,95998	5,78377	,00000	1,74477	51
Residuo típ.	-1,536	3,002	,000	,906	51
Residuo estud.	-1,643	3,178	-,011	,988	51
Residuo eliminado	-3,74245	6,48438	-,05790	2,11602	51
Residuo eliminado estud.	-1,679	3,616	-,002	1,027	51
Dist. de Mahalanobis	2,419	33,482	8,824	7,551	51
Distancia de Cook	,000	,229	,023	,042	51
Valor de influencia centrado	,048	,670	,176	,151	51

a. Variable dependiente: Pax_LoadFactor_%

Tabla 5.4-26 Estadísticos sobre los residuos para puntos influyentes, para PaxLF_%.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Una vez realizados todos los contrastes, se puede dar por bueno el modelo de predicción de la variable respuesta o dependiente PaxLF_% en función de las diez variables explicativas o independientes utilizadas. Como además se ha podido comprobar el grado de significación de los diferentes términos, se toma como primera ecuación del modelo global la (17) del nuevo modelo ***PaxLF_%*** simplificado, que es:

$$PaxLF\_\% = 4,876 \cdot Lt + 1,578 \cdot Sa + 7,810 \cdot N + 1,301 \cdot Pu - 0,010 \cdot Rg - 0,227 \cdot Vc - 3,186 \cdot Mtow$$

Se puede comprobar, también en este caso, la bondad del ajuste que en el gráfico 5.4-18 se refleja en la proximidad y coincidencia de tendencia de los valores calculados (Ajuste) frente a los reales (Observado) y siempre dentro de los intervalos de confianza (LCS – LCI), creados para el 95% de probabilidad.

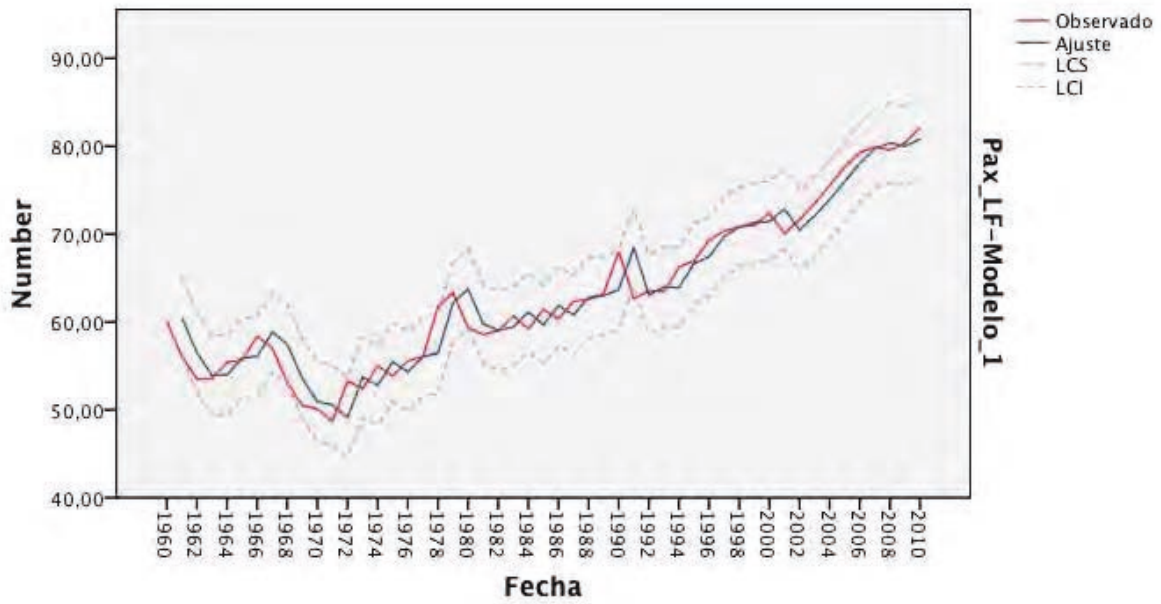


Gráfico 5.4-18 Gráfico del modelo PaxLF_% vs. valores observados con límites de confianza
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Este sería el tercer indicador modelado de 8 previstos. Se prosigue el calculo del modelo del indicador de rendimiento siguiente, en función de las mismas variables independientes y con el mismo procedimiento y los mismos contrastes.

5.4.4. CASM: Cost per Available Seat Miles.

1. **Objetivo:** Ajustar un modelo lineal que permita predecir el indicador CASM (Cost per Available Seat Miles – Coste por asiento disponible y milla recorrida) en función de la longitud total de la aeronave, el ancho del fuselaje, la superficie alar, el número de motores, la potencia unitaria de cada uno de estos motores, el número de pasajeros que puede transportar la aeronave en su configuración de máxima capacidad, número de tripulantes de cabina, alcance de la aeronave, velocidad de crucero y peso máximo al despegue.
2. **Variable dependiente:** Cost per Available Seat Miles: CASM en (¢/ASM).
3. **Variables independientes:**
   a. Longitud total de la aeronave: Lt en (m).
   b. Ancho del fuselaje: A (m).
   c. Superficie alar: SupAl (m^2).
   d. Número de motores: NºM.
   e. Potencia unitaria de cada motor: PotUd (kN).
   f. Número de pasajeros en su configuración de máxima capacidad: PaxMax.
   g. Número de tripulantes de cabina: CREW.
   h. Alcance de la aeronave: Rg (km).
   i. Velocidad de crucero: Vcru.
   j. Peso máximo al despegue: MTOW (t).

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m	PaxMax	Introducir

a. Variable dependiente: CASM (¢/ASM)
b. Alcanzado límite de tolerancia = ,000.

Tabla 5.4-27 Tabla resumen del SPSS del análisis lineal de regresión multivariante - CASM
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig	Intervalo de confianza (95,0% para B)	
		No estandarizados		Tipificados				
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-12,443	13,981		-0,89	0,379	-40,678	15,791
	Lt_m	1,735	0,516	3,045	3,361	0,002	0,692	2,777
	A_m	22,285	4,005	3,165	5,564	0	14,197	30,373
	SupAl_m2	-0,298	0,135	-1,958	-2,2	0,033	-0,571	-0,024
	NºM	1,162	1,006	0,22	1,155	0,255	-0,870	3,195
	PotUd_kN	0,014	0,073	0,196	0,192	0,849	-0,133	0,161
	Crew	-0,624	0,851	-0,159	-0,734	0,467	-2,342	1,094
	Rg_Km	-0,003	0,001	-0,402	-2,107	0,041	-0,005	0,000
	Vcru	-0,107	0,018	-4,768	-6,105	0	-0,143	-0,072
	MTOW_t	0,094	0,191	0,704	0,491	0,626	-0,292	0,479

a Variable dependiente: CASM (¢/ASM)

Tabla 5.4-28 Coeficientes Modelo regresión lineal multivariante calculados por SPSS 20 - CASM.
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Los coeficientes de la ecuación del modelo de regresión lineal multivariante que permiten hallar el valor del indicador CASM en función de las variables explicativas o caracterizadoras son los que están en la columna B (Coeficientes no estandarizados), de manera que aparecen sucesivamente, el término independiente seguido del coeficiente de la variable explicativa de la columna –Modelo", así la ecuación resultante es (18):

$$\boldsymbol{CASM} = -12{,}443 + 1{,}735 \cdot \boldsymbol{Lt} + 22{,}285 \cdot \boldsymbol{A} - 0{,}298 \cdot \boldsymbol{Sa} +$$
$$+1{,}162 \cdot \boldsymbol{N} + 0{,}014 \cdot \boldsymbol{Pu} - 0{,}624 \cdot \boldsymbol{Cr} - 0{,}003 \cdot \boldsymbol{Rg} - 0{,}107 \cdot \boldsymbol{Vc} + 0{,}094 \cdot \boldsymbol{Mtow}$$

4. Inferencia sobre el modelo: validación del modelo multivariante

Como se explicó anteriormente, el significado de los parámetros que figura como contraste en primer lugar, está asegurado por el proceso de selección de los mismos. Por lo que procede ahora es ver la **significación estadística de la ecuación y de los parámetros,** para seguir luego con el resto.

a. **Significación individual de las variables:** Recordar que la utilidad de este proceso es verificar si cada variable aporta información significativa al análisis y que depende de las interrelaciones entre las variables y no es concluyente.

El contraste de hipótesis ($\boldsymbol{X_j^m}$):

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_j = 0}$$
$$H_1: \quad \boldsymbol{\beta_j \neq 0}$$

Aceptar H_0 significa que la variable —noaporta información significativa" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años, un número de variables explicativas o independientes de k=10 y una confianza del 95%, se obtuvo una t de Student (ver tabla 5.4-6, pág. 186, para t_{n-k-1}, es decir df=40) de t_{40}=2,021, de ello:

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-12,443	13,981		-0,89	0,379
	Lt_m	1,735	0,516	3,045	3,361	0,002
	A_m	22,285	4,005	3,165	5,564	0
	SupAl_m2	-0,298	0,135	-1,958	-2,2	0,033
	NºM	1,162	1,006	0,22	1,155	0,255
	PotUd_kN	0,014	0,073	0,196	0,192	0,849
	Crew	-0,624	0,851	-0,159	-0,734	0,467
	Rg_Km	-0,003	0,001	0,402	-2,107	0,041
	Vcru	-0,107	0,018	-4,768	-6,105	0
	MTOW_t	0,094	0,191	0,704	0,491	0,626

a Variable dependiente: CASM (¢/ASM)

Tabla 5.4-29 Análisis de significación individual de las variables - CASM.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que son significativas las variables de Longitud total de la aeronave en metros, Ancho de la aeronave en metros, Superficie Alar en metros cuadrados, Alcance en kilómetros y Velocidad de crucero en kilómetros por hora, ya que el valor absoluto de la columna t de la tabla es mayor que la t_{40} obtenida de la tabla. Considerando que hay una variable excluida se podría evaluar t_{41} dando el mismo resultado. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig" para las variables significativas, es cero o prácticamente cero, lo que corrobora su significación.

De esta manera la ecuación del modelo CASM, se simplificaría al excluir a cuatro variables independientes de las nueve consideradas, ya que la variable Paxmax fue excluida anteriormente por colinealidad, es decir, depender linealmente del resto de variables.

b. Significación de la constante: con este proceso se pretende verificar si la variable dependiente tiene media 0 cuando las variables explicativas se anulan.

En el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \beta_0 = 0$$
$$H_1: \quad \beta_0 \neq 0$$

Aceptar H_0 significa que —noes conveniente incluir un término constante" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años y una confianza del 95%, se obtiene una t de Student (ver tabla 5.4-8, pág. 188, para t_{n-2}, es decir df=49) de t_{49}=2,0102, que se calcula interpolando linealmente t_{50}=2,009 y t_{40}=2,021.

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-12,443	13,981		-0,89	0,379
	Lt_m	1,735	0,516	3,045	3,361	0,002
	A_m	22,285	4,005	3,165	5,564	0
	SupAl_m2	-0,298	0,135	-1,958	-2,2	0,033
	NºM	1,162	1,006	0,22	1,155	0,255
	PotUd_kN	0,014	0,073	0,196	0,192	0,849
	Crew	-0,624	0,851	-0,159	-0,734	0,467
	Rg_Km	-0,003	0,001	-0,402	-2,107	0,041
	Vcru	-0,107	0,018	-4,768	-6,105	0
	MTOW_t	0,094	0,191	0,704	0,491	0,626

a Variable dependiente: CASM (¢/ASM)

Tabla 5.4-30 Análisis de significación del término independiente - CASM.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que t=-0,89 y por tanto $|t|$ < t_{49}=2,0102. Es decir, el valor absoluto es inferior al de la tabla por lo que **no hay que incluir la constante en el modelo**. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig" ya no es un valor cercano a cero, lo que, corrobora su no significación.

De esta manera la ecuación (19) del nuevo modelo ***CASM*** simplificado es:

$$\boldsymbol{CASM} = +1{,}735 \cdot \boldsymbol{Lt} + 22{,}285 \cdot \boldsymbol{A} - 0{,}298 \cdot \boldsymbol{Sa} - 0{,}003 \cdot \boldsymbol{Rg} - 0{,}107 \cdot \boldsymbol{Vc}$$

c. **Bondad del ajuste:** para este análisis se descomponía la variabilidad en función de la fuente de dicha variabilidad, es decir se comparaba la variabilidad del modelo y la residual y se calculaban con las ecuaciones 10 y 11, los **Coeficientes de determinación** $\boldsymbol{R^2}$, donde R era el Coeficiente de correlación lineal múltiple e indicaba la mayor correlación entre Y (variable dependiente o de respuesta) y las combinaciones lineales de las variables explicativas o independientes y el de **determinación corregido** $\boldsymbol{\bar{R}^2}$ porque R^2 sobrevaloraba la bondad del ajuste.

$$R^2 = \frac{VE}{VT} = 1 - \frac{VNE}{VT} \qquad (10) \qquad\qquad \bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} R^2 \qquad (11)$$

Recordando que n sería el número de casos, para este estudio 51 que son los años estudiados y k sería el número de variables independientes o explicativas, que en este caso son 10, aunque en los cálculos de este indicador CASM debería utilizarse 9 porque una de las variables ha sido excluida por colinealidad (PaxMax) según se ve en la tabla adjunta proporcionada por el SPSS.

Variables excluidas[a]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad		
						Tolerancia	FIV	Tolerancia mínima
1	PaxMax	2,611[b]	,759	,452	,119	7,628E-005	13109,270	7,628E-005

a. Variable dependiente: CASM (¢/ASM)

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Aplicando ahora al caso de estudio las ecuaciones 10 y 11, se obtienen los valores:

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error tip. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,982[a]	,963	,955	,55031	,963	119,979	9	41	,000	1,069

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: CASM (¢/ASM)

Como $R^2 = 0{,}963$, el indicador CASM queda explicado en un 96,3% por las variables explicativas según el modelo lineal considerado, lo cual en principio asegura el éxito del modelo para este indicador. El coeficiente corregido $\bar{R}^2 = 0{,}955$, que también es un excelente valor del 95,5 %, que confirma lo anterior.

d. Contraste de regresión (ANOVA): se verificará que de forma conjunta las variables explicativas aportan información en la explicación de la variable de respuesta y el modelo es relevante.

Recordar que en el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_k = 0}$$
$$H_1: \quad Algún\ \boldsymbol{\beta_j \neq 0}$$

aceptar $\boldsymbol{H_0}$ significaba que –las variables explicativas no están relacionadas linealmente con la variable de respuesta" en el análisis de regresión realizado y el modelo no valía por irrelevante.

Es decir, si el estadístico de Fischer $F_{k,n-k-1}$ es menor que el valor calculado según la ecuación (12) de la página 190 y su significación es cero o prácticamente cero se puede rechazar $\boldsymbol{H_0}$.

ANOVA[a]

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	327,011	9	36,335	119,979	,000[b]
	Residual	12,416	41	,303		
	Total	339,427	50			

a. Variable dependiente: CASM (¢/ASM)

b. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Al 5% <u>se rechaza la hipótesis nula</u> $\boldsymbol{H_0}$ por lo que las variables explicativas influyen de forma conjunta y lineal sobre la variable de respuesta. En la tabla 5.4-9 de la *Distribución-F* de Fischer de la página 191 se puede comprobar que el valor de $F_{9,41} = 1{,}34$ que es muy inferior al calculado por SPSS para este modelo, lo que en otros términos permite decir que la regresión considerada globalmente explica las variaciones intramuestrales de la variable endógena.

e. Predicción. Bandas de confianza: en el gráfico 5.4-19 se puede observar la bondad de la predicción, con unos índices de confianza para la media muy altos. Y apenas hay valores fuera de las bandas de confianza del 95%, corroborando como el resto de contrastes la bondad del modelo.

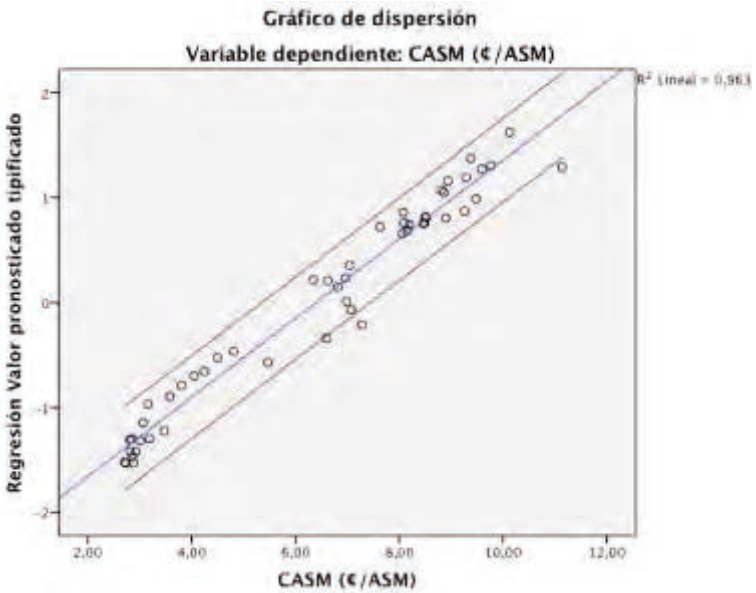


Gráfico 5.4-19 Gráfico de dispersión CASM vs. Valor pronosticado tipificado
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

f. Análisis de los residuos:

1. **Normalidad de los residuos:** dentro de las herramientas de análisis disponibles en SPSS 20, se van a utilizar el histograma y el gráfico probabilístico normal para verificar que efectivamente existe normalidad en los residuos.

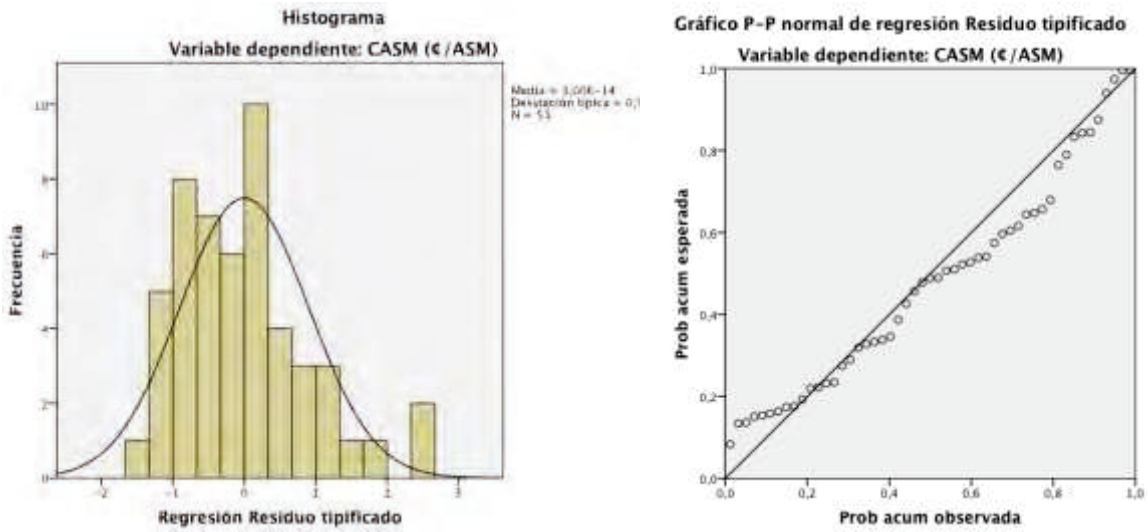


Gráfico 5.4-20/21 Histograma y gráfico probabilístico normal de residuos tipificados – CASM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

En los gráficos se evidencia una tendencia a la normalidad suficiente, en comparación con una distribución normal (unimodal, simétrica y acampanada) señala similitudes aceptables.

2. **No autocorrelación:** hace referencia a la inercia de una observación a otra que pueda indicar la no independencia entre los residuos. El Test de Durbin-Watson permite evaluar si existe autocorrelación en una Regresión lineal, sea simple o múltiple.
   Se calcula el estadístico de Durbin-Watson d como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}(e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n} e_t^2} \qquad (13)$$

Recordar que el contraste de hipótesis tiene como Hipótesis nula que la autocorrelación es cero frente a la alternativa que afirma que es distinta de cero:

$$H_0: \quad \rho = \mathbf{0} \quad \boldsymbol{no\ hay\ autocorrelación}$$
$$H_1: \quad \rho \neq \mathbf{0} \quad \boldsymbol{si\ hay\ autocorrelació}$$

de forma que

$$d < d_L \ se\ rechaza\ H_0$$

$$d > d_U \; no \; se \; rechaza \; H_0$$

$$d_L < d < d_U \; test \; no \; decisivo$$

Se procede al cálculo una vez ya se justificó en la variable ASM_Ud toda la metodología.

En las tablas pueden verse los valores críticos de Durbin-Watson que permiten tomar la decisión de mantener la Hipótesis nula, pasar a la Hipótesis alternativa o permite estar en una zona de indecisión, buscando para *Critical Values for the Durbin-Watson Test: 5% Significance Level T=6 to 100, K=2 to 21 (K <= T-4) K no intercept* en el link de la Universidad de Standford (http://web.stanford.edu/~clint/bench/dw05a.htm), se ha obtenido para T=51 y K=9 unos valores de d_L=0,9274 y d_U=2,2174. Si se tiene en cuenta que el valor calculado con la expresión (13) por el software SPSS-20 es d =1,069; se puede colegir que la prueba no es concluyente y el test no se considera decisivo.

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,982[a]	,963	,955	,55031	,963	119,979	9	41	,000	1,069

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: CASM (¢/ASM)

3. **Homocedasticidad:** hace referencia a la constancia de los residuos para los valores que van tomando las variables independientes. Recordar que como se explicó en la primer KPI estudiada (ASM_Ud), cuando el término de perturbación es homocedástico los residuos se comportan igual independientemente de los valores de las variables explicativas.

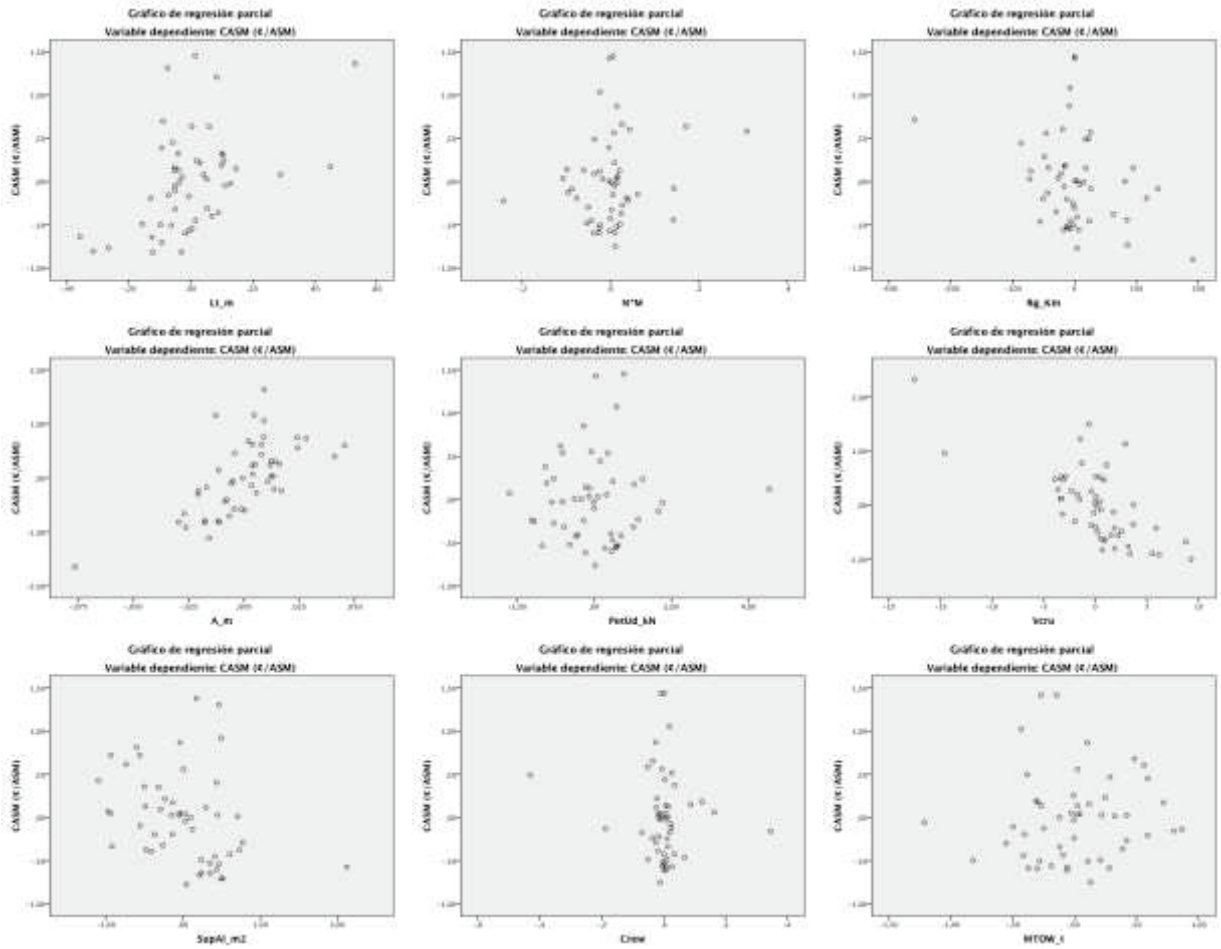


Gráfico 5.4-22 Gráficos de dispersión: regresiones parciales v. explicativas vs. v. respuesta–CASM
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

La aleatoriedad garantiza la homocedasticidad, porque si se viera alguna tendencia en función de las diferentes variables explicativas habría heterocedasticidad para esa variable. Lo que significaría un comportamiento de la varianza no constante en el término de perturbación. A la vista de los gráficos se puede aceptar la hipótesis de homocedasticidad en los residuos.

4. **Falta de linealidad:** hace referencia a las posibles desviaciones de los datos desde el modelo lineal que se está ajustando.

Como se comentó en el análisis del primer KPI (ASM_Ud), una forma sencilla de analizar la existencia de relación lineal entre las variables en el modelo especificado consiste en la observación del gráfico resultante de representar sobre un plano los valores de los errores de la regresión (residuos tipificados o estudentizados) con los valores ajustados o pronosticados de la endógena (Gráfico 5.4-23). Aunque también se pueden observar los gráficos de la variable respuesta con cada una de las variables explicativas (ver el apartado anterior el gráfico 5.4-22). Si en cualquiera de estos gráficos se apreciara un comportamiento sistemático, se podría sospechar que la especificación lineal no es la más adecuada.

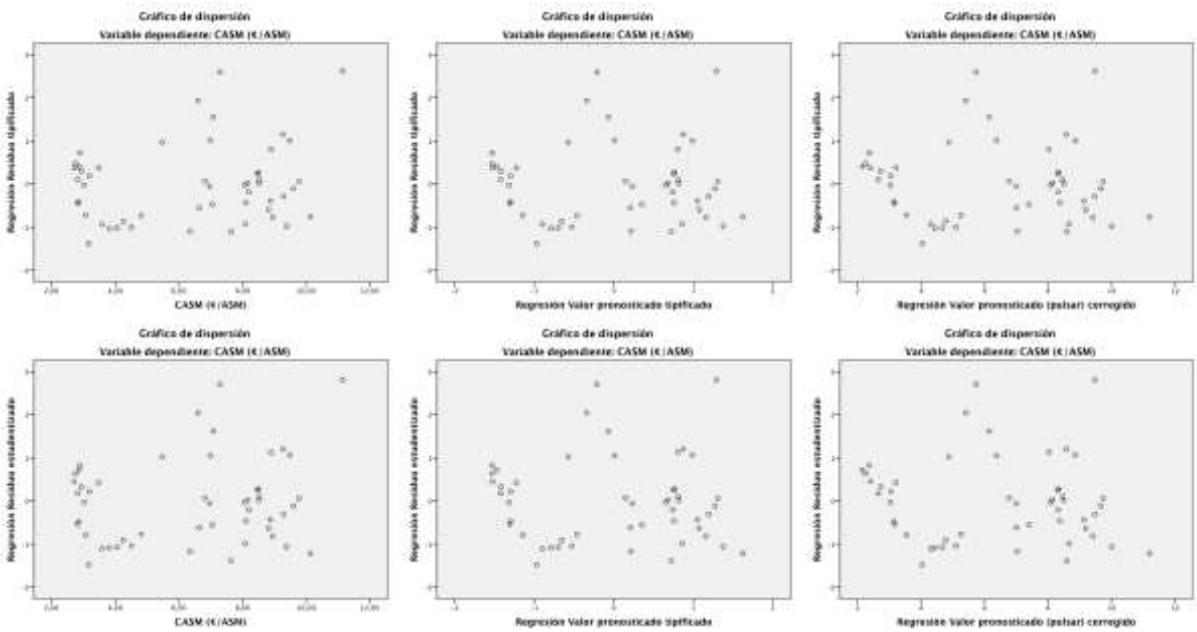


Gráfico 5.4-23 Gráficos de dispersión de regresiones v.endógena y valores pronosticados corregidos y sin corregir vs. residuos tipificados y estudentizados, para CASM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Como se puede observar no existe comportamiento sistemático lo cual garantiza la falta de linealidad.

5. **No multicolinealidad:** recordar que hace referencia a la posible colinealidad, que es la asociación, medida como correlación, entre dos variables explicativas (el término multicolinealidad se utiliza para tres o más variables explicativas). La utilización de varias variables como predictores, hace necesaria la evaluación de la correlación múltiple entre las variables independientes como medio de evaluar la multicolinealidad. [1]

El **impacto de la multicolinealidad** y la justificación estadística de la metodología, se describe en los cálculos del primer KPI (ASM_Ud).

El software SPSS-20 que se ha utilizado para esta tesis calcula el **índice de condicionamiento** y la **matriz de descomposición de la varianza del coeficiente de regresión** además de unos estimadores que son el **FIV** (factor de inflación de la varianza) y los valores de la **tolerancia.**

Siguiendo el procedimiento ya explicado en sus **dos partes**:

1. **Identificar los índices de condicionamiento que estén por encima de un valor límite,** habitualmente con 30 como valor más utilizado. Por ello se buscarán los índices de condicionamiento que estén por encima del umbral: 30.
2. Para todos los índices de condicionamiento que excedan el umbral, identificar las variables con proporciones de varianza por encima del 90%.

Diagnósticos de colinealidad[a]

Modelo	Dimensión	Autovalores	Índice de condición	Proporciones de la varianza									
				(Constante)	Lt_m	A_m	SupAl_m2	N°M	PotUd_kN	Crew	Rg_Km	Vcru	MTOW_t
1	1	9,751	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	,221	6,649	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	3	,022	20,891	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,00
	4	,004	49,931	,00	,00	,00	,00	,01	,01	,05	,00	,00	,00
	5	,002	72,521	,00	,00	,00	,00	,06	,00	,01	,00	,00	,00
	6	,001	131,866	,00	,00	,00	,00	,57	,00	,64	,04	,00	,00
	7	,000	297,907	,02	,01	,10	,00	,08	,00	,20	,14	,05	,00
	8	2,115E-005	678,968	,51	,03	,32	,01	,14	,08	,01	,34	,22	,06
	9	7,823E-006	1116,455	,45	,95	,09	,00	,01	,03	,01	,00	,69	,15
	10	5,979E-006	1277,027	,02	,01	,50	,99	,12	,88	,08	,47	,03	,79

a. Variable dependiente: CASM (€/ASM)

>30 >90%

Tabla 5.4-31 Diagnósticos de multicolinealidad: índices de condicionamiento y matriz de proporciones de la varianza, para CASM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Habrá multicolinealidad cuando un índice de condicionamiento identificado en el primer paso por encima del valor del umbral, tiene en cuenta una proporción sustancial de la varianza de dos o más coeficientes. Se puede ver en la tabla 5.4-29 de diagnóstico de colinealidad de SPSS-20 que hay 7 índices de condicionamiento claramente por encima de 30,

correspondientes a las dimensiones de 4 a 10, pero se puede ver en la matriz de descomposición de la varianza (proporciones de la varianza), que ningún índice de condicionamiento tiene dos o mas coeficientes con una proporción de la varianza por encima del 90%. De hecho se han marcado los dos únicos casos que es así y se corresponden a dos coeficientes índices distintos. Por ello no se observa colinealidad y se puede seguir con el proceso de validación y contraste.

g. **Datos anómalos y Medidas de influencia:** el objetivo es detectar datos anómalos y datos influyentes, entendiendo como datos anómalos o atípicos a los individuos cuyo residuos tipificado es superior a 3 (en valor absoluto) y como datos influyentes a aquellos individuos cuya omisión produce cambios notables en los resultados del análisis. En nuestro caso los individuos son los aviones tipo de cada año.

A partir de estos conceptos definidos en el Hair [1], ya explicados y utilizados en el apartado correspondiente del estudio del primer KPI y utilizando la herramienta estadística SSPS-20 como hasta ahora, se calcularán los siguientes:

≠ **Detección de residuos atípicos:** Los valores tipificados de los residuos deben estar entre -3 y 3. Según se puede ver en la tabla 5.4.30, no existe ningún residuo tipificado fuera de tolerancia todos están dentro del intervalo [-1,382 ; 2,619] lo que se considera válido. En este caso ya se podía ver en el histograma representado en el gráfico 5.4-20.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	2,4835	10,5463	6,4013	2,55738	51
Residual	-,76065	1,44127	,00000	,49833	51
Valor pronosticado tip.	-1,532	1,621	,000	1,000	51
Residuo típ.	-1,382	2,619	,000	,906	51

a. Variable dependiente: CASM (¢/ASM)

Tabla 5.4-32 Estadísticos sobre los residuos para detección de atípicos, para CASM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

≠ **Detección de puntos influyentes:**

- El rango de valores para la **distancia de Mahalanobis** no es elevado, varía entre un mínimo equivalente al valor medio menos 0,8482 σ y un máximo calculado como valor medio más 3,2655 σ. Es decir un rango aproximado de ±2 σ con sesgo hacia la derecha. Según se puede ver en la tabla 5.4-31
- Hay valores de la **distancia de Cook** ligeramente superiores al valor máximo calculado como 4 / (n-k-1) = 4 / (51-10-1)= 0,10. Pero muy inferiores a 1 por lo que no es peligrosa su influencia.
- **Medida de influencia:** (k+1)/n = (10+1)/51 =0,215686, valor muy inferior a 1 que corrobora la no influencia peligrosa de ningún valor. En la Tabla 5.4-31 el valor medio es 0,176 y el máximo 0,670.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	2,4835	10,5463	6,4013	2,55738	51
Valor pronosticado tip.	-1,532	1,621	,000	1,000	51
Error típico de valor pronosticado	,143	,457	,231	,080	51
Valor pronosticado corregido	2,1490	11,1945	6,4018	2,60339	51
Residual	-,76065	1,44127	,00000	,49833	51
Residuo típ.	-1,382	2,619	,000	,906	51
Residuo estud.	-1,482	2,808	-,002	,989	51
Residuo eliminado	-1,06747	1,65656	-,00049	,60875	51
Residuo eliminado estud.	-1,505	3,086	,010	1,025	51
Dist. de Mahalanobis	2,419	33,482	8,824	7,551	51
Distancia de Cook	,000	,228	,024	,043	51
Valor de influencia centrado	,048	,670	,176	,151	51

a. Variable dependiente: CASM (¢/ASM)

Tabla 5.4-33 Estadísticos sobre los residuos para puntos influyentes, para CASM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Una vez realizados todos los contrastes, se puede dar por bueno el modelo de predicción de la variable respuesta o dependiente CASM en función de las diez variables explicativas o independientes utilizadas. Como además se ha podido comprobar el grado de significación de los diferentes términos, se toma como primera ecuación del modelo global la (19) del nuevo modelo ***CASM*** simplificado, que es:

$$\boldsymbol{CASM} = +1{,}735 \cdot \boldsymbol{Lt} + 22{,}285 \cdot \boldsymbol{A} - 0{,}298 \cdot \boldsymbol{Sa} - 0{,}003 \cdot \boldsymbol{Rg} - 0{,}107 \cdot \boldsymbol{Vc}$$

Se puede comprobar, también en este caso, la bondad del ajuste que en el gráfico 5.4-24 se refleja en la proximidad y coincidencia de tendencia de los valores calculados (Ajuste) frente a los reales (Observado) y siempre dentro de los intervalos de confianza (LCS – LCI), creados para el 95% de probabilidad.

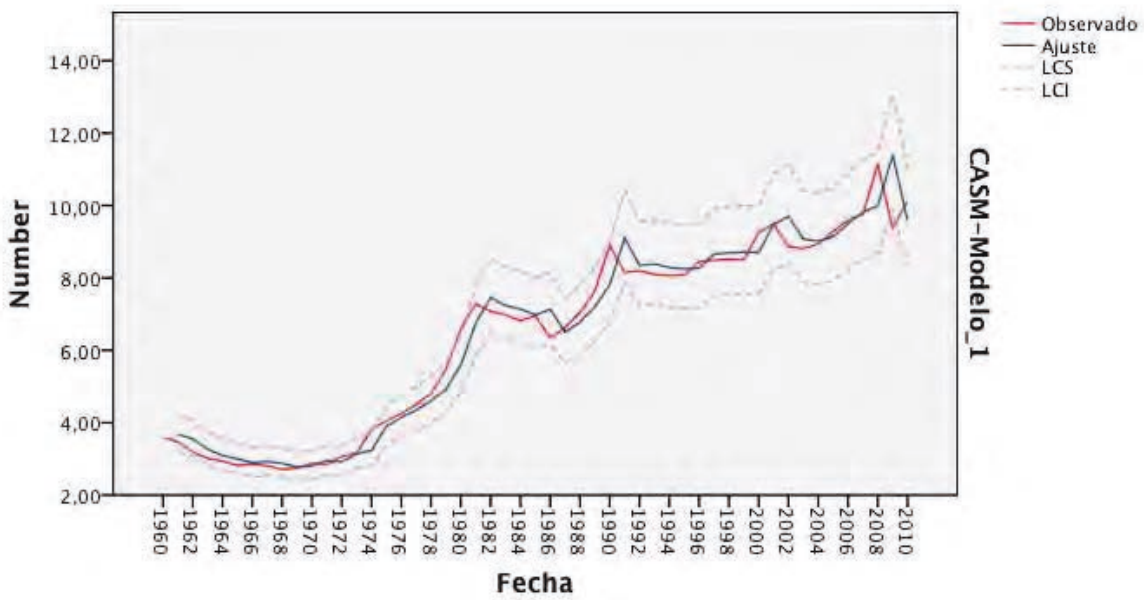


Gráfico 5.4-24 Gráfico del modelo CASM vs. valores observados con límites de confianza
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Este sería el cuarto indicador modelado de los 8 previstos. Se prosigue el calculo del modelo del indicador de rendimiento siguiente, en función de las mismas variables independientes y con el mismo procedimiento y los mismos contrastes.

5.4.5. RASM: Revenue per Available Seat Miles.

1. **Objetivo:** Ajustar un modelo lineal que permita predecir el indicador RASM (Revenue per Available Seat Miles – Ingreso por asiento disponible y milla recorrida) en función de la longitud total de la aeronave, el ancho del fuselaje, la superficie alar, el número de motores, la potencia unitaria de cada uno de estos motores, el número de pasajeros que puede transportar la aeronave en su configuración de máxima capacidad, número de tripulantes de cabina, alcance de la aeronave, velocidad de crucero y peso máximo al despegue.
2. **Variable dependiente:** Revenue per Available Seat Miles: RASM en (¢/ASM).
3. **Variables independientes:**
    a. Longitud total de la aeronave: Lt en (m).
    b. Ancho del fuselaje: A (m).
    c. Superficie alar: SupAl (m^2).
    d. Número de motores: NºM.
    e. Potencia unitaria de cada motor: PotUd (kN).
    f. Número de pasajeros en su configuración de máxima capacidad: PaxMax.
    g. Número de tripulantes de cabina: CREW.
    h. Alcance de la aeronave: Rg (km).
    i. Velocidad de crucero: Vcru.
    j. Peso máximo al despegue: MTOW (t).

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m	PaxMax	Introducir

a. Variable dependiente: RASM (¢/ASM)
b. Alcanzado límite de tolerancia = ,000.

Tabla 5.4-34 Tabla resumen del SPSS del análisis lineal de regresión multivariante - RASM
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig	Intervalo de confianza (95,0% para B)	
		No estandarizados		Tipificados				
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-17,178	14,317		-1,2	0,237	-46,092	11,736
	Lt_m	1,939	0,528	3,409	3,669	0,001	0,872	3,006
	A_m	21,791	4,101	3,1	5,313	0	13,508	30,074
	SupAl_m2	-0,196	0,138	-1,292	-1,415	0,165	-0,476	0,084
	NºM	0,752	1,031	0,142	0,729	0,47	-1,330	2,833
	PotUd_kN	0,063	0,075	0,891	0,851	0,4	-0,087	0,214
	Crew	-0,428	0,871	-0,11	-0,492	0,626	-2,187	1,331
	Rg_Km	-0,003	0,001	-0,496	-2,535	0,015	-0,006	-0,001
	Vcru	-0,111	0,018	-4,928	-6,152	0	-0,147	-0,074
	MTOW_t	-0,086	0,196	-0,648	-0,441	0,662	-0,481	0,309

a Variable dependiente: RASM (¢/ASM)

Tabla 5.4-35 Coeficientes Modelo regresión lineal multivariante calculados por SPSS 20 - CASM.
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Los coeficientes de la ecuación del modelo de regresión lineal multivariante que permiten hallar el valor del indicador RASM en función de las variables explicativas o caracterizadoras son los que están en la columna B (Coeficientes no estandarizados), de manera que aparecen sucesivamente, el término independiente seguido del coeficiente de la variable explicativa de la columna –Modelo", así la ecuación resultante es (20):

$$\boldsymbol{RASM} = -17{,}178 + 1{,}939 \cdot \boldsymbol{Lt} + 21{,}791 \cdot \boldsymbol{A} - 0{,}196 \cdot \boldsymbol{Sa} +$$
$$+0{,}752 \cdot \boldsymbol{N} + 0{,}063 \cdot \boldsymbol{Pu} - 0{,}428 \cdot \boldsymbol{Cr} - 0{,}003 \cdot \boldsymbol{Rg} - 0{,}111 \cdot \boldsymbol{Vc} - 0{,}086 \cdot \boldsymbol{Mtow}$$

4. Inferencia sobre el modelo: validación del modelo multivariante

Como se explicó anteriormente, el significado de los parámetros que figura como contraste en primer lugar, está asegurado por el proceso de selección de los mismos. Por lo que procede ahora es ver la **significación estadística de la ecuación y de los parámetros,** para seguir luego con el resto.

a. **Significación individual de las variables:** Recordar que la utilidad de este proceso es verificar si cada variable aporta información significativa al análisis y que depende de las interrelaciones entre las variables y no es concluyente.

El contraste de hipótesis ($\boldsymbol{X_j^m}$):

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_j = 0}$$
$$H_1: \quad \boldsymbol{\beta_j \neq 0}$$

Aceptar H_0 significa que la variable —nœaporta información significativa" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años, un número de variables explicativas o independientes de k=10 y una confianza del 95%, se obtuvo una t de Student (ver tabla 5.4-6, pág. 186, para t_{n-k-1}, es decir df=40) de t_{40}=2,021, de ello:

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-17,178	14,317		-1,2	0,237
	Lt_m	1,939	0,528	3,409	3,669	0,001
	A_m	21,791	4,101	3,1	5,313	0
	SupAl_m2	-0,196	0,138	-1,292	-1,415	0,165
	NºM	0,752	1,031	0,142	0,729	0,47
	PotUd_kN	0,063	0,075	0,891	0,851	0,4
	Crew	-0,428	0,871	-0,11	-0,492	0,626
	Rg_Km	-0,003	0,001	-0,496	-2,535	0,015
	Vcru	-0,111	0,018	-4,928	-6,152	0
	MTOW_t	-0,086	0,196	-0,648	-0,441	0,662

a Variable dependiente: RASM (¢/ASM)

Tabla 5.4-36 Análisis de significación individual de las variables - RASM.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que son significativas las variables de Longitud total de la aeronave en metros, Ancho de la aeronave en metros, Alcance en kilómetros y Velocidad de crucero en kilómetros por hora, ya que el valor absoluto de la columna t de la tabla es mayor que la t_{40} obtenida de la tabla. Considerando que hay una variable excluida se podría evaluar t_{41} dando el mismo resultado. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig" para las variables significativas, es cero o prácticamente cero, lo que corrobora su significación.

De esta manera la ecuación del modelo RASM, se simplificaría al excluir a cinco variables independientes de las nueve consideradas, ya que la variable Paxmax fue excluida anteriormente por colinealidad, es decir, depender linealmente del resto de variables.

b. Significación de la constante: con este proceso se pretende verificar si la variable dependiente tiene media 0 cuando las variables explicativas se anulan.

En el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \beta_0 = 0$$
$$H_1: \quad \beta_0 \neq 0$$

Aceptar H_0 significa que —noes conveniente incluir un término constante" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años y una confianza del 95%, se obtiene una t de Student (ver tabla 5.4-8, pág. 188, para t_{n-2}, es decir df=49) de t_{49}=2,0102, que se calcula interpolando linealmente t_{50}=2,009 y t_{40}=2,021.

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-17,178	14,317		-1,2	0,237
	Lt_m	1,939	0,528	3,409	3,669	0,001
	A_m	21,791	4,101	3,1	5,313	0
	SupAl_m2	-0,196	0,138	-1,292	-1,415	0,165
	NºM	0,752	1,031	0,142	0,729	0,47
	PotUd_kN	0,063	0,075	0,891	0,851	0,4
	Crew	-0,428	0,871	-0,11	-0,492	0,626
	Rg_Km	-0,003	0,001	-0,496	-2,535	0,015
	Vcru	-0,111	0,018	-4,928	-6,152	0
	MTOW_t	-0,086	0,196	-0,648	-0,441	0,662

a Variable dependiente: RASM (¢/ASM)

Tabla 5.4-37 Análisis de significación del término independiente - CASM.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que t=-1,2 y por tanto $|t| < t_{49}$=2,0102. Es decir, el valor absoluto es inferior al de la tabla por lo que **no hay que incluir la constante en el modelo**. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig" ya no es un valor cercano a cero, lo que, corrobora su no significación.

De esta manera la ecuación (21) del nuevo modelo ***RASM*** simplificado es:

$$\boldsymbol{RASM} = +1{,}939 \cdot \boldsymbol{Lt} + 21{,}791 \cdot \boldsymbol{A} - 0{,}003 \cdot \boldsymbol{Rg} - 0{,}111 \cdot \boldsymbol{Vc}$$

c. **Bondad del ajuste:** para este análisis se descomponía la variabilidad en función de la fuente de dicha variabilidad, es decir se comparaba la variabilidad del modelo y la residual y se calculaban con las ecuaciones 10 y 11, los **Coeficientes de determinación** $\boldsymbol{R^2}$, donde R era el Coeficiente de correlación lineal múltiple e indicaba la mayor correlación entre Y (variable dependiente o de respuesta) y las combinaciones lineales de las variables explicativas o independientes y el de **determinación corregido** $\boldsymbol{\bar{R}^2}$ porque R^2 sobrevaloraba la bondad del ajuste.

$$R^2 = \frac{VE}{VT} = 1 - \frac{VNE}{VT} \qquad (10) \qquad\qquad \bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} R^2 \qquad (11)$$

Recordando que n sería el número de casos, para este estudio 51 que son los años estudiados y k sería el número de variables independientes o explicativas, que en este caso son 10, aunque en los cálculos de este indicador RASM debería utilizarse 9 porque una de las variables ha sido excluida por colinealidad (PaxMax) según se ve en la tabla adjunta proporcionada por el SPSS.

Variables excluidas[a]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad		
						Tolerancia	FIV	Tolerancia mínima
1	PaxMax	-,078[b]	-,022	,982	-,003	7,628E-005	13109,270	7,628E-005

a. Variable dependiente: RASM (¢/ASM)

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Aplicando ahora al caso de estudio las ecuaciones 10 y 11, se obtienen los valores:

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,981[a]	,962	,953	,56355	,962	113,840	9	41	,000	,922

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: RASM (¢/ASM)

Como $R^2 = 0{,}962$, el indicador CASM queda explicado en un 96,2% por las variables explicativas según el modelo lineal considerado, lo cual en principio asegura el éxito del modelo para este indicador. El coeficiente corregido $\bar{R}^2 = 0{,}953$, que también es un excelente valor del 95,3 %, que confirma lo anterior.

d. Contraste de regresión (ANOVA): se verificará que de forma conjunta las variables explicativas aportan información en la explicación de la variable de respuesta y el modelo es relevante.

Recordar que en el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_1} = \boldsymbol{\beta_2} = \cdots = \boldsymbol{\beta_k} = \mathbf{0}$$
$$H_1: \quad Algún\ \boldsymbol{\beta_j} \neq \mathbf{0}$$

aceptar $\boldsymbol{H_0}$ significaba que "las variables explicativas no están relacionadas linealmente con la variable de respuesta" en el análisis de regresión realizado y el modelo no valía por irrelevante.

Es decir, si el estadístico de Fischer $F_{k,n-k-1}$ es menor que el valor calculado según la ecuación (12) de la página 190 y su significación es cero o prácticamente cero se puede rechazar $\boldsymbol{H_0}$.

ANOVA[a]

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	325,393	9	36,155	113,840	,000[b]
	Residual	13,021	41	,318		
	Total	338,414	50			

a. Variable dependiente: RASM (¢/ASM)

b. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Al 5% se rechaza la hipótesis nula $\boldsymbol{H_0}$ por lo que las variables explicativas influyen de forma conjunta y lineal sobre la variable de respuesta. En la tabla 5.4-9 de la *Distribución-F* de Fischer de la página 191 se puede comprobar que el valor de $F_{9,41} = 1{,}34$ que es muy inferior al calculado por SPSS para este modelo, lo que en otros términos permite decir que la regresión considerada globalmente explica las variaciones intramuestrales de la variable endógena.

e. **Predicción. Bandas de confianza:** en el gráfico 5.4-25 se puede observar la bondad de la predicción, con unos índices de confianza para la media muy altos. Y apenas hay valores fuera de las bandas de confianza del 95%, corroborando como el resto de contrastes la bondad del modelo.

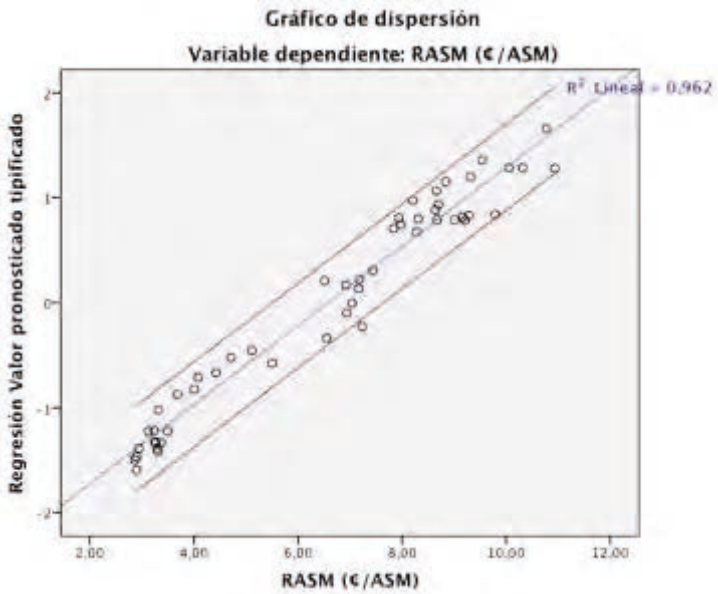


Gráfico 5.4-25 Gráfico de dispersión RASM vs. Valor pronosticado tipificado
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

f. Análisis de los residuos:

1. **Normalidad de los residuos:** dentro de las herramientas de análisis disponibles en SPSS 20, se van a utilizar el histograma y el gráfico probabilístico normal para verificar que efectivamente existe normalidad en los residuos.

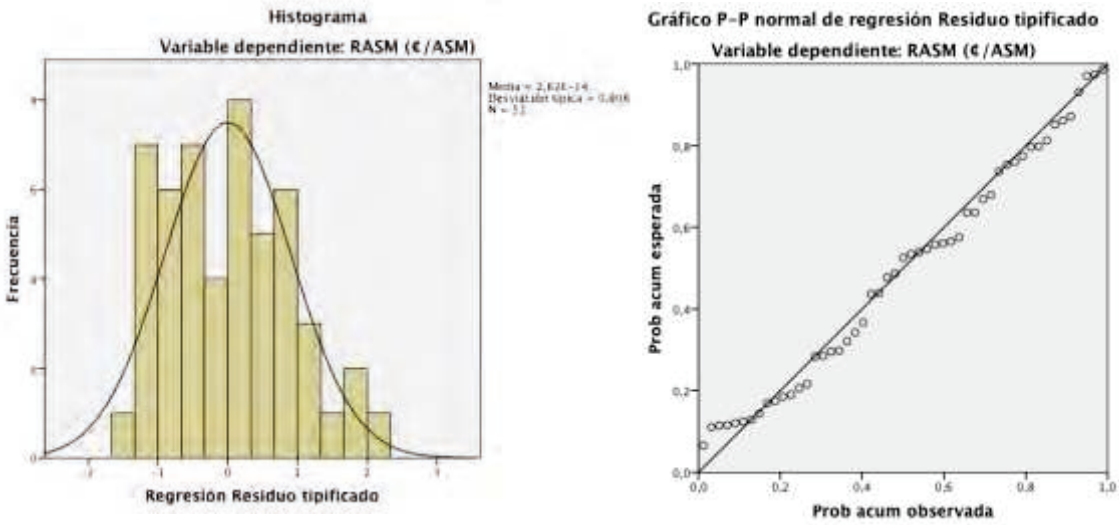


Gráfico 5.4-26/27 Histograma y gráfico probabilístico normal de residuos tipificados – RASM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

En los gráficos se evidencia una tendencia a la normalidad suficiente, en comparación con una distribución normal (unimodal, simétrica y acampanada) señala similitudes aceptables.

2. **No autocorrelación:** hace referencia a la inercia de una observación a otra que pueda indicar la no independencia entre los residuos. El Test de Durbin-Watson permite evaluar si existe autocorrelación en una Regresión lineal, sea simple o múltiple.
   Se calcula el estadístico de Durbin-Watson d como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}(e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n} e_t^2} \qquad (13)$$

Recordar que el contraste de hipótesis tiene como Hipótesis nula que la autocorrelación es cero frente a la alternativa que afirma que es distinta de cero:

$$H_0: \quad \rho = 0 \quad \boldsymbol{no\ hay\ autocorrelación}$$
$$H_1: \quad \rho \neq 0 \quad \boldsymbol{si\ hay\ autocorrelació}$$

de forma que

$$d < d_L \ se\ rechaza\ H_0$$

$$d > d_U \; no \; se \; rechaza \; H_0$$

$$d_L < d < d_U \; test \; no \; decisivo$$

Se procede al cálculo una vez ya se justificó en la variable ASM_Ud toda la metodología.

En las tablas pueden verse los valores críticos de Durbin-Watson que permiten tomar la decisión de mantener la Hipótesis nula, pasar a la Hipótesis alternativa o permite estar en una zona de indecisión, buscando para *Critical Values for the Durbin-Watson Test: 5% Significance Level T=6 to 100, K=2 to 21 (K <= T-4) K no intercept* en el link de la Universidad de Standford (http://web.stanford.edu/~clint/bench/dw05a.htm), se ha obtenido para T=51 y K=9 unos valores de d_L=0,9274 y d_U=2,2174. Si se tiene en cuenta que el valor calculado con la expresión (13) por el software SPSS-20 es d =0,922; se puede colegir que al ser prácticamente coincidente, apenas 5 milésimas por debajo del límite inferior, habría que rechazar la hipótesis nula, pero al estar tan cerca del límite inferior, la prueba no es concluyente y el test no se considera decisivo.

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,981[a]	,962	,953	,56355	,962	113,840	9	41	,000	,922

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: RASM (¢/ASM)

3. **Homocedasticidad:** hace referencia a la constancia de los residuos para los valores que van tomando las variables independientes. Recordar que como se explicó en la primer KPI estudiada (ASM_Ud), cuando el término de perturbación es homocedástico los residuos se comportan igual independientemente de los valores de las variables explicativas.

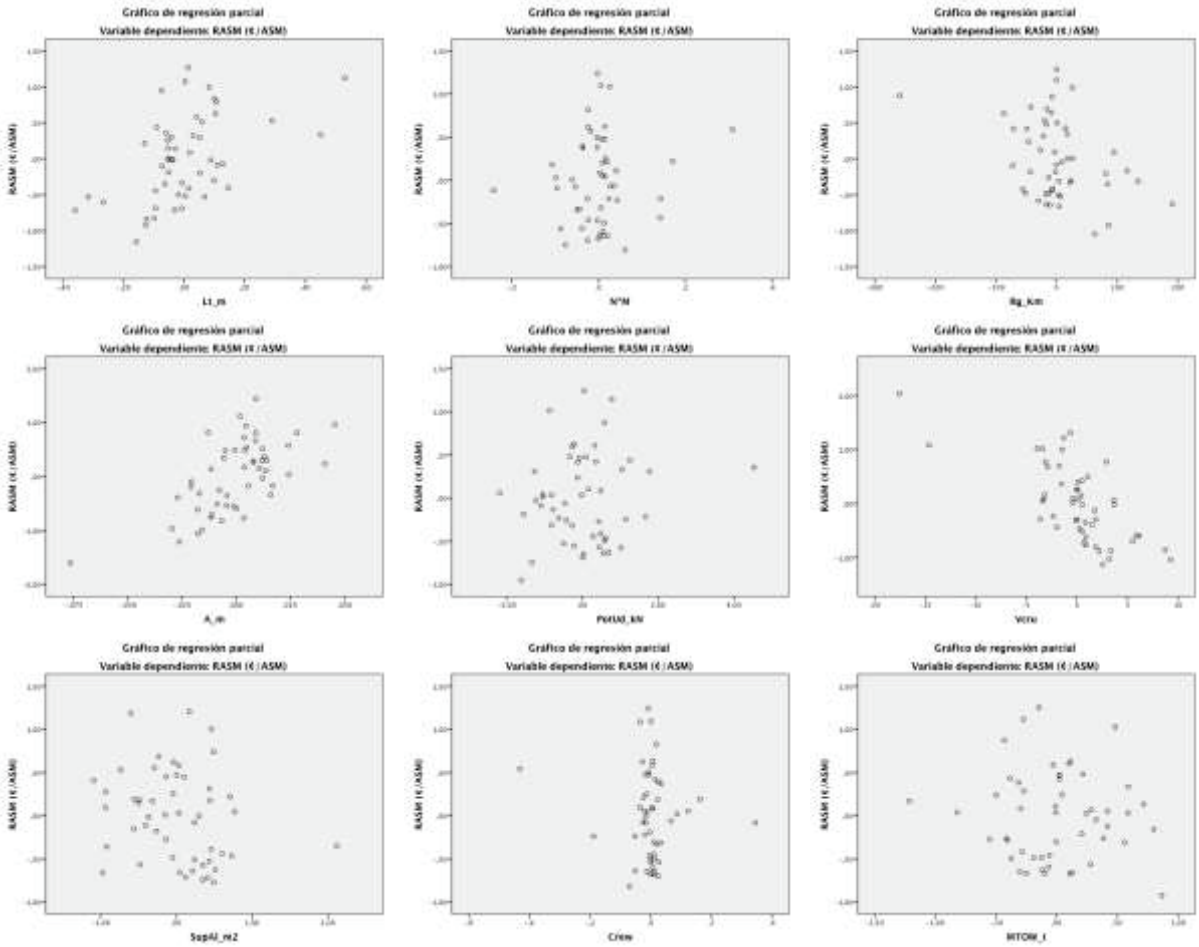


Gráfico 5.4-28 Gráficos de dispersión: regresiones parciales v. explicativas vs. v. respuesta–RASM
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

La aleatoriedad garantiza la homocedasticidad, porque si se viera alguna tendencia en función de las diferentes variables explicativas habría heterocedasticidad para esa variable. Lo que significaría un comportamiento de la varianza no constante en el término de perturbación. A la vista de los gráficos se puede aceptar la hipótesis de homocedasticidad en los residuos.

4. **Falta de linealidad:** hace referencia a las posibles desviaciones de los datos desde el modelo lineal que se está ajustando.

Como se comentó en el análisis del primer KPI (ASM_Ud), una forma sencilla de analizar la existencia de relación lineal entre las variables en el modelo especificado consiste en la observación del gráfico resultante de representar sobre un plano los valores de los errores de la regresión (residuos tipificados o estudentizados) con los valores ajustados o pronosticados de la endógena (Gráfico 5.4-29). Aunque también se pueden observar los gráficos de la variable respuesta con cada una de las variables explicativas (ver el apartado anterior el gráfico 5.4-28). Si en cualquiera de estos gráficos se apreciara un comportamiento sistemático, se podría sospechar que la especificación lineal no es la más adecuada.

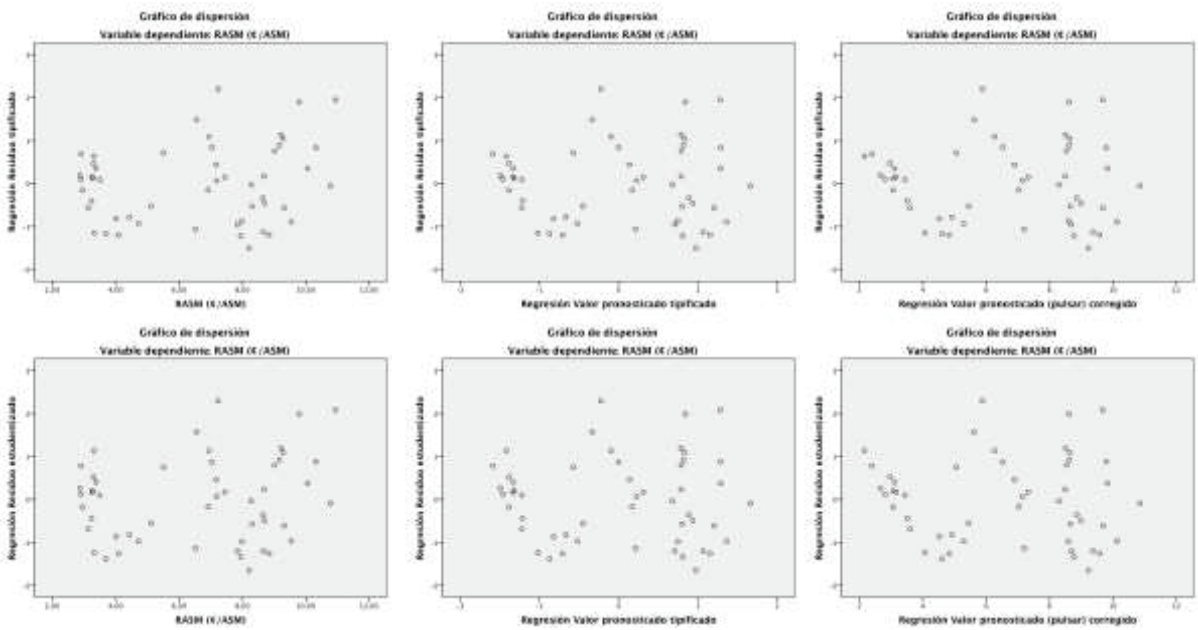


Gráfico 5.4-29 Gráficos de dispersión de regresiones v.endógena y valores pronosticados corregidos y sin corregir vs. residuos tipificados y estudentizados, para CASM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Como se puede observar no existe comportamiento sistemático lo cual garantiza la falta de linealidad.

5. **No multicolinealidad:** recordar que hace referencia a la posible colinealidad, que es la asociación, medida como correlación, entre dos variables explicativas (el término multicolinealidad se utiliza para tres o más variables explicativas). La utilización de varias variables como predictores, hace necesaria la evaluación de la correlación múltiple entre las variables independientes como medio de evaluar la multicolinealidad. [1]

El **impacto de la multicolinealidad** y la justificación estadística de la metodología, se describe en los cálculos del primer KPI (ASM_Ud).

El software SPSS-20 que se ha utilizado para esta tesis calcula el **índice de condicionamiento** y la **matriz de descomposición de la varianza del coeficiente de regresión** además de unos estimadores que son el **FIV** (factor de inflación de la varianza) y los valores de la **tolerancia.**

Siguiendo el procedimiento ya explicado en sus **dos partes**:

1. **Identificar los índices de condicionamiento que estén por encima de un valor límite,** habitualmente con 30 como valor más utilizado. Por ello se buscarán los índices de condicionamiento que estén por encima del umbral: 30.
2. Para todos los índices de condicionamiento que excedan el umbral, identificar las variables con proporciones de varianza por encima del 90%.

Diagnósticos de colinealidad[a]

Modelo	Dimensión	Autovalores	Índice de condición	Proporciones de la varianza									
				(Constante)	Lt_m	A_m	SupAl_m2	N°M	PotUd_kN	Crew	Rg_Km	Vcru	MTOW_t
1	1	9,751	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	,221	6,649	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	3	,022	20,891	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,00
	4	,004	49,931	,00	,00	,00	,00	,01	,01	,05	,00	,00	,00
	5	,002	72,521	,00	,00	,00	,00	,06	,00	,01	,00	,00	,00
	6	,001	131,866	,00	,00	,00	,00	,57	,00	,64	,04	,00	,00
	7	,000	297,907	,02	,01	,10	,00	,08	,00	,20	,14	,05	,00
	8	2,115E-005	678,968	,51	,03	,32	,01	,14	,08	,01	,34	,22	,06
	9	7,823E-006	1116,455	,45	,95	,09	,00	,01	,03	,01	,00	,69	,15
	10	5,979E-006	1277,027	,02	,01	,50	,99	,12	,88	,08	,47	,03	,79

a. Variable dependiente: RASM (€/ASM)

>30

>90%

Tabla 5.4-38 Diagnósticos de multicolinealidad: índices de condicionamiento y matriz de proporciones de la varianza, para RASM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Habrá multicolinealidad cuando un índice de condicionamiento identificado en el primer paso por encima del valor del umbral, tiene en cuenta una proporción sustancial de la varianza de dos o más coeficientes. Se puede ver en la tabla 5.4-36 de diagnóstico de colinealidad de SPSS-20 que hay 7 índices de condicionamiento claramente por encima de 30,

correspondientes a las dimensiones de 4 a 10, pero se puede ver en la matriz de descomposición de la varianza (proporciones de la varianza), que ningún índice de condicionamiento tiene dos o mas coeficientes con una proporción de la varianza por encima del 90%. De hecho se han marcado los dos únicos casos que es así y se corresponden a dos coeficientes índices distintos. Por ello no se observa colinealidad y se puede seguir con el proceso de validación y contraste.

g. **Datos anómalos y Medidas de influencia:** el objetivo es detectar datos anómalos y datos influyentes, entendiendo como datos anómalos o atípicos a los individuos cuyo residuos tipificado es superior a 3 (en valor absoluto) y como datos influyentes a aquellos individuos cuya omisión produce cambios notables en los resultados del análisis. En nuestro caso los individuos son los aviones tipo de cada año.

A partir de estos conceptos definidos en el Hair [1], ya explicados y utilizados en el apartado correspondiente del estudio del primer KPI y utilizando la herramienta estadística SSPS-20 como hasta ahora, se calcularán los siguientes:

≠ **Detección de residuos atípicos:** Los valores tipificados de los residuos deben estar entre -3 y 3. Según se puede ver en la tabla 5.4.37, no existe ningún residuo tipificado fuera de tolerancia todos están dentro del intervalo [-1,506 ; 2,199] lo que se considera válido. En este caso ya se podía ver en el histograma representado en el gráfico 5.4-26.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	2,5153	10,8082	6,5754	2,55105	51
Residual	-,84893	1,23919	,00000	,51032	51
Valor pronosticado tip.	-1,592	1,659	,000	1,000	51
Residuo típ.	-1,506	2,199	,000	,906	51

a. Variable dependiente: RASM (¢/ASM)

Tabla 5.4-39 Estadísticos sobre los residuos para detección de atípicos, para RASM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

≠ **Detección de puntos influyentes:**

- El rango de valores para la **distancia de Mahalanobis** no es elevado, varía entre un mínimo equivalente al valor medio menos 0,8482 σ y un máximo calculado como valor medio más 3,2655 σ. Es decir un rango aproximado de ±2 σ con sesgo hacia la derecha. Según se puede ver en la tabla 5.4-38
- Hay valores de la **distancia de Cook** ligeramente superiores al valor máximo calculado como 4 / (n-k-1) = 4 / (51-10-1)= 0,10. Pero muy inferiores a 1 por lo que no es peligrosa su influencia.
- **Medida de influencia:** (k+1)/n = (10+1)/51 =0,215686, valor muy inferior a 1 que corrobora la no influencia peligrosa de ningún valor. En la Tabla 5.4-38 el valor medio es 0,176 y el máximo 0,670.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	2,5153	10,8082	6,5754	2,55105	51
Valor pronosticado tip.	-1,592	1,659	,000	1,000	51
Error típico de valor pronosticado	,147	,468	,236	,082	51
Valor pronosticado corregido	2,1605	10,8580	6,5698	2,58876	51
Residual	-,84893	1,23919	,00000	,51032	51
Residuo típ.	-1,506	2,199	,000	,906	51
Residuo estud.	-1,651	2,292	,001	,981	51
Residuo eliminado	-1,01934	1,34690	,00559	,60994	51
Residuo eliminado estud.	-1,687	2,425	,006	,998	51
Dist. de Mahalanobis	2,419	33,482	8,824	7,551	51
Distancia de Cook	,000	,287	,021	,043	51
Valor de influencia centrado	,048	,670	,176	,151	51

a. Variable dependiente: RASM (¢/ASM)

Tabla 5.4-40 Estadísticos sobre los residuos para puntos influyentes, para RASM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Una vez realizados todos los contrastes, se puede dar por bueno el modelo de predicción de la variable respuesta o dependiente RASM en función de las diez variables explicativas o independientes utilizadas. Como además se ha podido comprobar el grado de significación de los diferentes términos, se toma como primera ecuación del modelo global la (21) del nuevo modelo ***RASM*** simplificado, que es:

$$\boldsymbol{RASM} = +1{,}939 \cdot \boldsymbol{Lt} + 21{,}791 \cdot \boldsymbol{A} - 0{,}003 \cdot \boldsymbol{Rg} - 0{,}111 \cdot \boldsymbol{Vc}$$

Se puede comprobar, también en este caso, la bondad del ajuste que en el gráfico 5.4-30 se refleja en la proximidad y coincidencia de tendencia de los valores calculados (Ajuste) frente a los reales (Observado) y siempre dentro de los intervalos de confianza (LCS – LCI), creados para el 95% de probabilidad.

Gráfico 5.4-30 Gráfico del modelo RASM vs. valores observados con límites de confianza
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Este sería el quinto indicador modelado de los 8 previstos. Se prosigue el calculo del modelo del indicador de rendimiento siguiente, en función de las mismas variables independientes y con el mismo procedimiento y los mismos contrastes.

5.4.6. PaxYield: Passenger Yield.

1. **Objetivo:** Ajustar un modelo lineal que permita predecir el indicador PaxYield (Passenger Yield – Rendimiento por pasajero: tarifa media en ¢ pagada por milla y pasajero) en función de la longitud total de la aeronave, el ancho del fuselaje, la superficie alar, el número de motores, la potencia unitaria de cada uno de estos motores, el número de pasajeros que puede transportar la aeronave en su configuración de máxima capacidad, número de tripulantes de cabina, alcance de la aeronave, velocidad de crucero y peso máximo al despegue.
2. **Variable dependiente:** Passenger Yield: PaxYield en (¢/RPM).
3. **Variables independientes:**
   a. Longitud total de la aeronave: Lt en (m).
   b. Ancho del fuselaje: A (m).
   c. Superficie alar: SupAl (m^2).
   d. Número de motores: NºM.
   e. Potencia unitaria de cada motor: PotUd (kN).
   f. Número de pasajeros en su configuración de máxima capacidad: PaxMax.
   g. Número de tripulantes de cabina: CREW.
   h. Alcance de la aeronave: Rg (km).
   i. Velocidad de crucero: Vcru.
   j. Peso máximo al despegue: MTOW (t).

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m	PaxMax	Introducir

a. Variable dependiente: PaxYield (¢/RPM)
b. Alcanzado límite de tolerancia = ,000.

Tabla 5.4-41 Tabla resumen del SPSS del análisis lineal de regresión multivariante - PaxYield
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig	Intervalo de confianza (95,0% para B)	
		No estandarizados		Tipificados				
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-10,639	19,365		-0,549	0,586	-49,747	28,470
	Lt_m	2,309	0,715	3,551	3,231	0,002	0,866	3,753
	A_m	38,753	5,548	4,821	6,986	0	27,549	49,956
	SupAl_m2	-0,569	0,187	-3,283	-3,04	0,004	-0,948	-0,191
	NºM	0,250	1,394	0,041	0,179	0,858	-2,565	3,065
	PotUd_kN	-0,111	0,101	-1,365	-1,103	0,277	-0,315	0,092
	Crew	-0,429	1,178	-0,096	-0,364	0,718	-2,808	1,950
	Rg_Km	-0,005	0,002	-0,677	-2,93	0,006	-0,008	-0,002
	Vcru	-0,156	0,024	-6,099	-6,436	0	-0,206	-0,107
	MTOW_t	0,382	0,265	2,516	1,446	0,156	-0,152	0,917

a Variable dependiente: PaxYield (¢/RPM)

Tabla 5.4-42 Coeficientes Modelo regresión lineal multivariante calculados por SPSS 20 - PaxYield.
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Los coeficientes de la ecuación del modelo de regresión lineal multivariante que permiten hallar el valor del indicador PaxYield en función de las variables explicativas o caracterizadoras son los que están en la columna B (Coeficientes no estandarizados), de manera que aparecen sucesivamente, el término independiente seguido del coeficiente de la variable explicativa de la columna –Modelo", así la ecuación resultante es (22):

$$\boldsymbol{PaxYield} = -10{,}639 + 2{,}309 \cdot \boldsymbol{Lt} + 38{,}753 \cdot \boldsymbol{A} - 0{,}569 \cdot \boldsymbol{Sa} +$$
$$+0{,}250 \cdot \boldsymbol{N} - 0{,}111 \cdot \boldsymbol{Pu} - 0{,}429 \cdot \boldsymbol{Cr} - 0{,}005 \cdot \boldsymbol{Rg} - 0{,}156 \cdot \boldsymbol{Vc} + 0{,}382 \cdot \boldsymbol{Mtow}$$

4. Inferencia sobre el modelo: validación del modelo multivariante

Como se explicó anteriormente, el significado de los parámetros que figura como contraste en primer lugar, está asegurado por el proceso de selección de los mismos. Por lo que procede ahora es ver la **significación estadística de la ecuación y de los parámetros,** para seguir luego con el resto.

a. **Significación individual de las variables:** Recordar que la utilidad de este proceso es verificar si cada variable aporta información significativa al análisis y que depende de las interrelaciones entre las variables y no es concluyente.

El contraste de hipótesis ($\boldsymbol{X_j^m}$):

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_j = 0}$$
$$H_1: \quad \boldsymbol{\beta_j \neq 0}$$

Aceptar H_0 significa que la variable —nœaporta información significativa" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años, un número de variables explicativas o independientes de k=10 y una confianza del 95%, se obtuvo una t de Student (ver tabla 5.4-6, pág. 186, para t_{n-k-1}, es decir df=40) de t_{40}=2,021, de ello:

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-10,639	19,365		-0,549	0,586
	Lt_m	2,309	0,715	3,551	3,231	0,002
	A_m	38,753	5,548	4,821	6,986	0
	SupAl_m2	-0,569	0,187	-3,283	-3,04	0,004
	NºM	0,250	1,394	0,041	0,179	0,858
	PotUd_kN	-0,111	0,101	-1,365	-1,103	0,277
	Crew	-0,429	1,178	-0,096	-0,364	0,718
	Rg_Km	-0,005	0,002	-0,677	-2,93	0,006
	Vcru	-0,156	0,024	-6,099	-6,436	0
	MTOW_t	0,382	0,265	2,516	1,446	0,156

a Variable dependiente: PaxYield (¢/RPM)

Tabla 5.4-43 Análisis de significación individual de las variables - PaxYield.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que son significativas las variables de Longitud total de la aeronave en metros, Ancho de la aeronave en metros, Superficie Alar en metros cuadrados, Alcance en kilómetros y Velocidad de crucero en kilómetros por hora, ya que el valor absoluto de la columna t de la tabla es mayor que la t_{40} obtenida de la tabla. Considerando que hay una variable excluida se podría evaluar t_{41} dando el mismo resultado. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig" para las variables significativas, es cero o prácticamente cero, lo que corrobora su significación.

De esta manera la ecuación del modelo PaxYield, se simplificaría al excluir a cuatro variables independientes de las nueve consideradas, ya que la variable Paxmax fue excluida anteriormente por colinealidad, es decir, depender linealmente del resto de variables.

b. Significación de la constante: con este proceso se pretende verificar si la variable dependiente tiene media 0 cuando las variables explicativas se anulan.

En el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \beta_0 = 0$$
$$H_1: \quad \beta_0 \neq 0$$

Aceptar H_0 significa que —noes conveniente incluir un término constante" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años y una confianza del 95%, se obtiene una t de Student (ver tabla 5.4-8, pág. 188, para t_{n-2}, es decir df=49) de t_{49}=2,0102, que se calcula interpolando linealmente t_{50}=2,009 y t_{40}=2,021.

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-10,639	19,365		-0,549	0,586
	Lt_m	2,309	0,715	3,551	3,231	0,002
	A_m	38,753	5,548	4,821	6,986	0
	SupAl_m2	-0,569	0,187	-3,283	-3,04	0,004
	NºM	0,250	1,394	0,041	0,179	0,858
	PotUd_kN	-0,111	0,101	-1,365	-1,103	0,277
	Crew	-0,429	1,178	-0,096	-0,364	0,718
	Rg_Km	-0,005	0,002	-0,677	-2,93	0,006
	Vcru	-0,156	0,024	-6,099	-6,436	0
	MTOW_t	0,382	0,265	2,516	1,446	0,156

a Variable dependiente: PaxYield (¢/RPM)

Tabla 5.4-44 Análisis de significación del término independiente - PaxYield.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que t=-0,549 y por tanto $|t| < t_{49}$=2,0102. Es decir, el valor absoluto es inferior al de la tabla por lo que **no hay que incluir la constante en el modelo**. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig" ya no es un valor cercano a cero, lo que, corrobora su no significación.

De esta manera la ecuación (23) del nuevo modelo ***PaxYield*** simplificado es:

$$\boldsymbol{PaxYield} = +2{,}309 \cdot \boldsymbol{Lt} + 38{,}753 \cdot \boldsymbol{A} - 0{,}569 \cdot \boldsymbol{Sa} - 0{,}005 \cdot \boldsymbol{Rg} - 0{,}156 \cdot \boldsymbol{Vc}$$

c. **Bondad del ajuste:** para este análisis se descomponía la variabilidad en función de la fuente de dicha variabilidad, es decir se comparaba la variabilidad del modelo y la residual y se calculaban con las ecuaciones 10 y 11, los **Coeficientes de determinación** $\boldsymbol{R^2}$, donde R era el Coeficiente de correlación lineal múltiple e indicaba la mayor correlación entre Y (variable dependiente o de respuesta) y las combinaciones lineales de las variables explicativas o independientes y el de **determinación corregido** $\boldsymbol{\bar{R}^2}$ porque R^2 sobrevaloraba la bondad del ajuste.

$$R^2 = \frac{VE}{VT} = 1 - \frac{VNE}{VT} \qquad (10) \qquad\qquad \bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} R^2 \qquad (11)$$

Recordando que n sería el número de casos, para este estudio 51 que son los años estudiados y k sería el número de variables independientes o explicativas, que en este caso son 10, aunque en los cálculos de este indicador PaxYield debería utilizarse 9 porque una de las variables ha sido excluida por colinealidad (PaxMax) según se ve en la tabla adjunta proporcionada por el SPSS.

Variables excluidas[a]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad		
						Tolerancia	FIV	Tolerancia mínima
1	PaxMax	1,763[b]	,421	,676	,066	7,628E-005	13109,270	7,628E-005

a. Variable dependiente: PaxYield (¢/RPM)

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Aplicando ahora al caso de estudio las ecuaciones 10 y 11, se obtienen los valores:

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,973[a]	,946	,934	,76226	,946	80,057	9	41	,000	,961

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: PaxYield (¢/RPM)

Como $R^2 = 0{,}946$, el indicador CASM queda explicado en un 94,6% por las variables explicativas según el modelo lineal considerado, lo cual en principio asegura el éxito del modelo para este indicador. El coeficiente corregido $\bar{R}^2 = 0{,}934$, que también es un excelente valor del 93,4 %, que confirma lo anterior.

d. Contraste de regresión (ANOVA): se verificará que de forma conjunta las variables explicativas aportan información en la explicación de la variable de respuesta y el modelo es relevante.

Recordar que en el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_k = 0}$$
$$H_1: \quad Algún\ \boldsymbol{\beta_j \neq 0}$$

aceptar $\boldsymbol{H_0}$ significaba que –las variables explicativas no están relacionadas linealmente con la variable de respuesta" en el análisis de regresión realizado y el modelo no valía por irrelevante.

Es decir, si el estadístico de Fischer $F_{k,n-k-1}$ es menor que el valor calculado según la ecuación (12) de la página 190 y su significación es cero o prácticamente cero se puede rechazar $\boldsymbol{H_0}$.

ANOVA[a]

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	418,654	9	46,517	80,057	,000[b]
	Residual	23,823	41	,581		
	Total	442,476	50			

a. Variable dependiente: PaxYield (¢/RPM)

b. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Al 5% <u>se rechaza la hipótesis nula</u> $\boldsymbol{H_0}$ por lo que las variables explicativas influyen de forma conjunta y lineal sobre la variable de respuesta. En la tabla 5.4-9 de la *Distribución-F* de Fischer de la página 191 se puede comprobar que el valor de $F_{9,41} = 1{,}34$ que es muy inferior al calculado por SPSS para este modelo, lo que en otros términos permite decir que la regresión considerada globalmente explica las variaciones intramuestrales de la variable endógena.

e. Predicción. Bandas de confianza: en el gráfico 5.4-31 se puede observar la bondad de la predicción, con unos índices de confianza para la media muy altos. Y apenas hay valores fuera de las bandas de confianza del 95%, corroborando como el resto de contrastes la bondad del modelo.

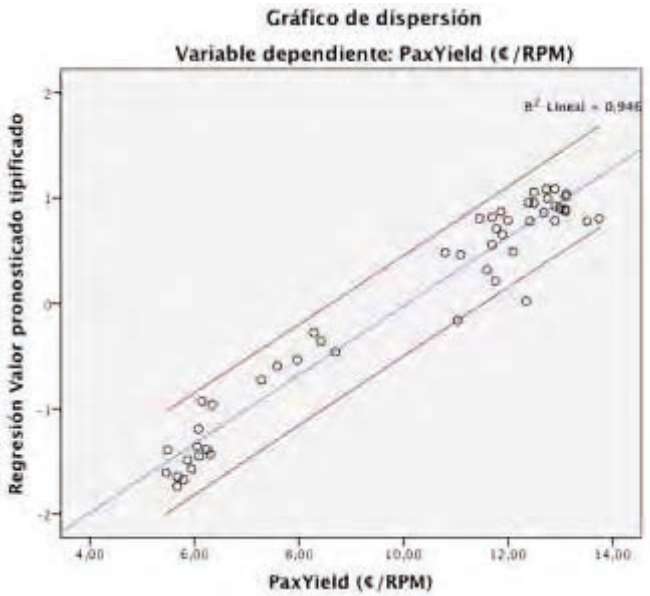


Gráfico 5.4-31 Gráfico de dispersión PaxYield vs. Valor pronosticado tipificado
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

f. Análisis de los residuos:

1. **Normalidad de los residuos:** dentro de las herramientas de análisis disponibles en SPSS 20, se van a utilizar el histograma y el gráfico probabilístico normal para verificar que efectivamente existe normalidad en los residuos.

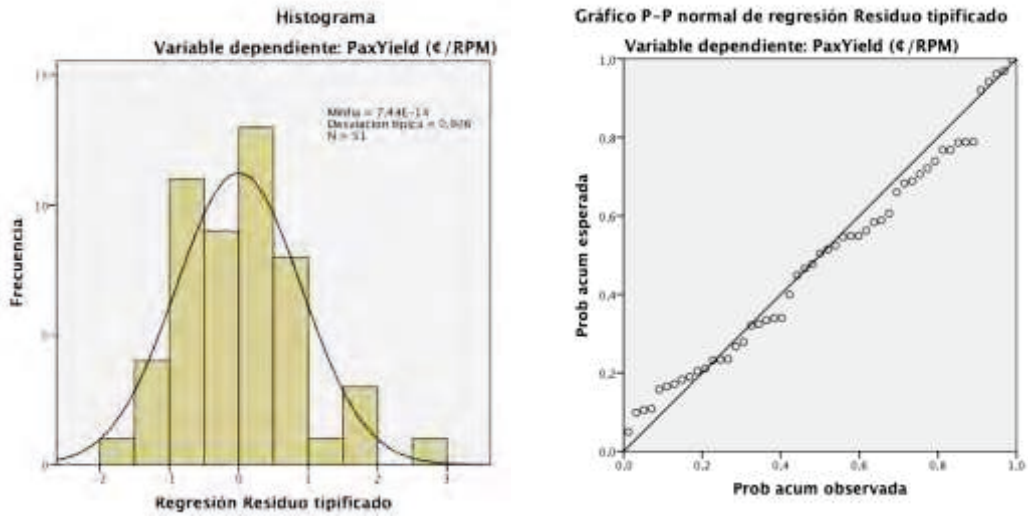


Gráfico 5.4-32/33 Histograma y gráfico probabilístico normal de residuos tipificados – PaxYield.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

En los gráficos se evidencia una tendencia a la normalidad suficiente, en comparación con una distribución normal (unimodal, simétrica y acampanada) señala similitudes aceptables.

2. **No autocorrelación:** hace referencia a la inercia de una observación a otra que pueda indicar la no independencia entre los residuos. El Test de Durbin-Watson permite evaluar si existe autocorrelación en una Regresión lineal, sea simple o múltiple.
   Se calcula el estadístico de Durbin-Watson d como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}(e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n} e_t^2} \qquad (13)$$

Recordar que el contraste de hipótesis tiene como Hipótesis nula que la autocorrelación es cero frente a la alternativa que afirma que es distinta de cero:

$$H_0: \quad \rho = 0 \quad \boldsymbol{no\ hay\ autocorrelación}$$
$$H_1: \quad \rho \neq 0 \quad \boldsymbol{si\ hay\ autocorrelació}$$

de forma que

$$d < d_L \; se \; rechaza \; H_0$$
$$d > d_U \; no \; se \; rechaza \; H_0$$
$$d_L < d < d_U \; test \; no \; decisivo$$

Se procede al cálculo una vez ya se justificó en la variable ASM_Ud toda la metodología.

En las tablas pueden verse los valores críticos de Durbin-Watson que permiten tomar la decisión de mantener la Hipótesis nula, pasar a la Hipótesis alternativa o permite estar en una zona de indecisión, buscando para *Critical Values for the Durbin-Watson Test: 5% Significance Level T=6 to 100, K=2 to 21 (K <= T-4) K no intercept* en el link de la Universidad de Standford (http://web.stanford.edu/~clint/bench/dw05a.htm), se ha obtenido para T=51 y K=9 unos valores de d_L=0,9274 y d_U=2,2174. Si se tiene en cuenta que el valor calculado con la expresión (13) por el software SPSS-20 es d =0,961; se puede colegir que la prueba no es concluyente y el test no se considera decisivo.

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,973[a]	,946	,934	,76226	,946	80,057	9	41	,000	,961

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: PaxYield (€/RPM)

3. **Homocedasticidad:** hace referencia a la constancia de los residuos para los valores que van tomando las variables independientes. Recordar que como se explicó en la primer KPI estudiada (ASM_Ud), cuando el término de perturbación es homocedástico los residuos se comportan igual independientemente de los valores de las variables explicativas.

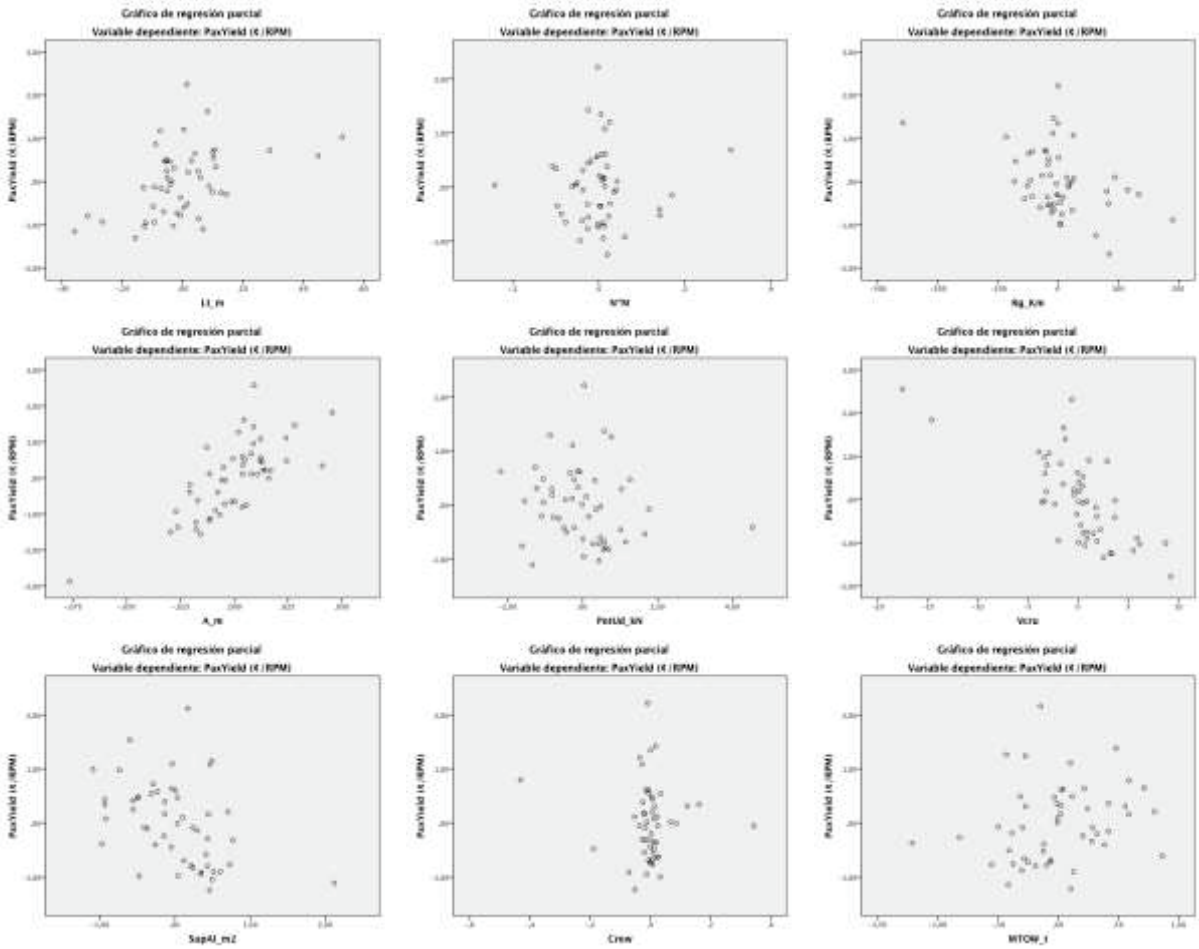


Gráfico 5.4-34 Gráficos d dispersión: regresiones parciales v. explicativas vs. v. respuesta–PaxYield
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

La aleatoriedad garantiza la homocedasticidad, porque si se viera alguna tendencia en función de las diferentes variables explicativas habría heterocedasticidad para esa variable. Lo que significaría un comportamiento de la varianza no constante en el término de perturbación. A la vista de los gráficos se puede aceptar la hipótesis de homocedasticidad en los residuos.

4. **Falta de linealidad:** hace referencia a las posibles desviaciones de los datos desde el modelo lineal que se está ajustando.

Como se comentó en el análisis del primer KPI (ASM_Ud), una forma sencilla de analizar la existencia de relación lineal entre las variables en el modelo especificado consiste en la observación del gráfico resultante de representar sobre un plano los valores de los errores de la regresión (residuos tipificados o estudentizados) con los valores ajustados o pronosticados de la endógena (Gráfico 5.4-35). Aunque también se pueden observar los gráficos de la variable respuesta con cada una de las variables explicativas (ver el apartado anterior el gráfico 5.4-34). Si en cualquiera de estos gráficos se apreciara un comportamiento sistemático, se podría sospechar que la especificación lineal no es la más adecuada.

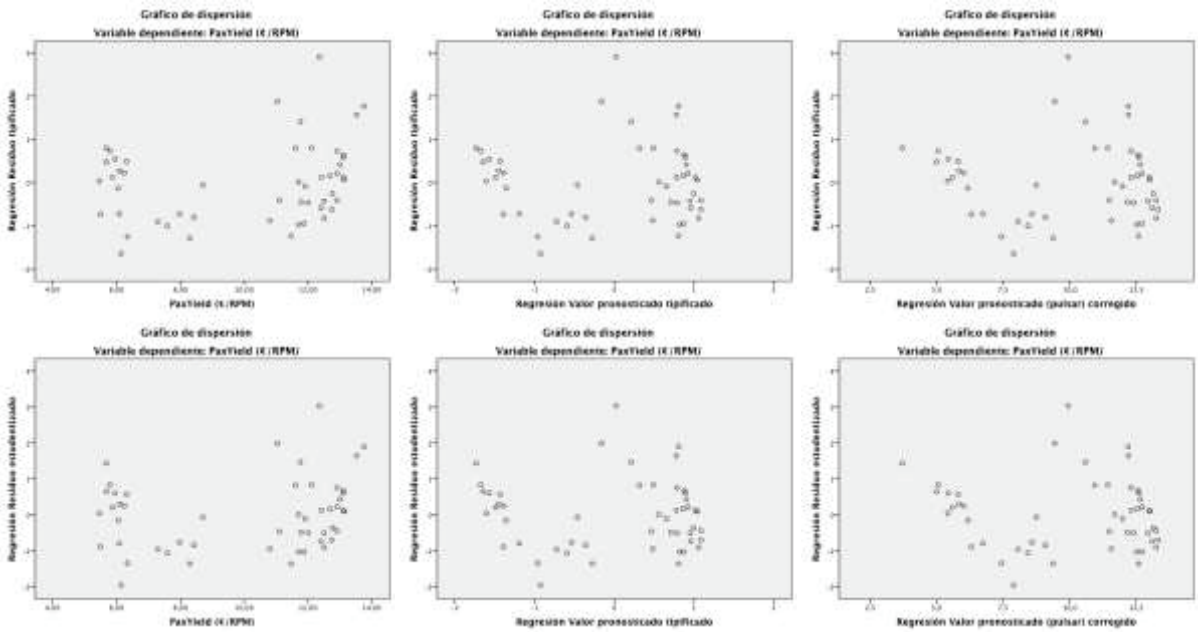


Gráfico 5.4-35 Gráficos de dispersión de regresiones v.endógena y valores pronosticados corregidos y sin corregir vs. residuos tipificados y estudentizados, para PaxYield.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Como se puede observar no existe comportamiento sistemático lo cual garantiza la falta de linealidad.

5. **No multicolinealidad:** recordar que hace referencia a la posible colinealidad, que es la asociación, medida como correlación, entre dos variables explicativas (el término multicolinealidad se utiliza para tres o más variables explicativas). La utilización de varias variables como predictores, hace necesaria la evaluación de la correlación múltiple entre las variables independientes como medio de evaluar la multicolinealidad. [1]

El **impacto de la multicolinealidad** y la justificación estadística de la metodología, se describe en los cálculos del primer KPI (ASM_Ud).

El software SPSS-20 que se ha utilizado para esta tesis calcula el **índice de condicionamiento** y la **matriz de descomposición de la varianza del coeficiente de regresión** además de unos estimadores que son el **FIV** (factor de inflación de la varianza) y los valores de la **tolerancia.**

Siguiendo el procedimiento ya explicado en sus **dos partes**:

1. **Identificar los índices de condicionamiento que estén por encima de un valor límite,** habitualmente con 30 como valor más utilizado. Por ello se buscarán los índices de condicionamiento que estén por encima del umbral: 30.
2. Para todos los índices de condicionamiento que excedan el umbral, identificar las variables con proporciones de varianza por encima del 90%.

Diagnósticos de colinealidad[a]

Modelo	Dimensión	Autovalores	Índice de condición	Proporciones de la varianza									
				(Constante)	Lf_m	A_m	SupAl_m2	N°M	PottId_kN	Crew	Rg_Km	Vcru	MTOW_t
1	1	9,751	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	,221	6,649	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	3	,022	20,891	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,00
	4	,004	49,931	,00	,00	,00	,00	,01	,01	,05	,00	,00	,00
	5	,002	72,521	,00	,00	,00	,00	,06	,00	,01	,00	,00	,00
	6	,001	111,866	,00	,00	,00	,00	,57	,00	,64	,04	,00	,00
	7	,000	297,907	,02	,01	,10	,00	,08	,00	,20	,14	,05	,00
	8	2,115E-005	678,968	,51	,03	,32	,01	,14	,08	,01	,34	,22	,06
	9	7,823E-006	1116,455	,45	,95	,09	,00	,01	,03	,01	,00	,69	,15
	10	5,979E-006	1277,027	,02	,01	,50	,99	,12	,88	,08	,47	,03	,79

a. Variable dependiente: PaxYield (€/RPK)

>30

>90%

Tabla 5.4-45 Diagnósticos de multicolinealidad: índices de condicionamiento y matriz de proporciones de la varianza, para PaxYield.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Habrá multicolinealidad cuando un índice de condicionamiento identificado en el primer paso por encima del valor del umbral, tiene en cuenta una proporción sustancial de la varianza de dos o más coeficientes. Se puede ver en la tabla 5.4-43 de diagnóstico de colinealidad de SPSS-20 que hay 7 índices de condicionamiento claramente por encima de 30,

correspondientes a las dimensiones de 4 a 10, pero se puede ver en la matriz de descomposición de la varianza (proporciones de la varianza), que ningún índice de condicionamiento tiene dos o mas coeficientes con una proporción de la varianza por encima del 90%. De hecho se han marcado los dos únicos casos que es así y se corresponden a dos coeficientes índices distintos. Por ello no se observa colinealidad y se puede seguir con el proceso de validación y contraste.

g. **Datos anómalos y Medidas de influencia:** el objetivo es detectar datos anómalos y datos influyentes, entendiendo como datos anómalos o atípicos a los individuos cuyo residuos tipificado es superior a 3 (en valor absoluto) y como datos influyentes a aquellos individuos cuya omisión produce cambios notables en los resultados del análisis. En nuestro caso los individuos son los aviones tipo de cada año.

A partir de estos conceptos definidos en el Hair [1], ya explicados y utilizados en el apartado correspondiente del estudio del primer KPI y utilizando la herramienta estadística SSPS-20 como hasta ahora, se calcularán los siguientes:

≠ **Detección de residuos atípicos:** Los valores tipificados de los residuos deben estar entre -3 y 3. Según se puede ver en la tabla 5.4.44, no existe ningún residuo tipificado fuera de tolerancia todos están dentro del intervalo [-1,647 ; 2,906] lo que se considera válido. En este caso ya se podía ver en el histograma representado en el gráfico 5.4-32.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	5,0602	13,2161	10,0784	2,89363	51
Residual	-1,25551	2,21506	,00000	,69026	51
Valor pronosticado tip.	-1,734	1,084	,000	1,000	51
Residuo típ.	-1,647	2,906	,000	,906	51

a. Variable dependiente: PaxYield (¢/RPM)

Tabla 5.4-46 Estadísticos sobre los residuos para detección de atípicos, para PaxYield.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

≠ **Detección de puntos influyentes:**

- El rango de valores para la **distancia de Mahalanobis** no es elevado, varía entre un mínimo equivalente al valor medio menos 0,8482 σ y un máximo calculado como valor medio más 3,2655 σ. Es decir un rango aproximado de ±2 σ con sesgo hacia la derecha. Según se puede ver en la tabla 5.4-45
- Hay valores de la **distancia de Cook** ligeramente superiores al valor máximo calculado como 4 / (n-k-1) = 4 / (51-10-1)= 0,10. Pero muy inferiores a 1 por lo que no es peligrosa su influencia.
- **Medida de influencia:** (k+1)/n = (10+1)/51 =0,215686, valor muy inferior a 1 que corrobora la no influencia peligrosa de ningún valor. En la Tabla 5.4-45 el valor medio es 0,176 y el máximo 0,670.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	5,0602	13,2161	10,0784	2,89363	51
Valor pronosticado tip.	-1,734	1,084	,000	1,000	51
Error típico de valor pronosticado	,199	,633	,319	,110	51
Valor pronosticado corregido	3,7077	13,3341	10,0661	2,97038	51
Residual	-1,25551	2,21506	,00000	,69026	51
Residuo típ.	-1,647	2,906	,000	,906	51
Residuo estud.	-1,948	3,030	,003	,988	51
Residuo eliminado	-1,75546	2,40759	,01230	,84459	51
Residuo eliminado estud.	-2,019	3,397	,013	1,022	51
Dist. de Mahalanobis	2,419	33,482	8,824	7,551	51
Distancia de Cook	,000	,457	,025	,067	51
Valor de influencia centrado	,048	,670	,176	,151	51

a. Variable dependiente: PaxYield (¢/RPM)

Tabla 5.4-47 Estadísticos sobre los residuos para puntos influyentes, para PaxYield.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Una vez realizados todos los contrastes, se puede dar por bueno el modelo de predicción de la variable respuesta o dependiente PaxYield en función de las diez variables explicativas o independientes utilizadas. Como además se ha podido comprobar el grado de significación de los diferentes términos, se toma como primera ecuación del modelo global la (23) del nuevo modelo ***PaxYield*** simplificado, que es:

$$\boldsymbol{PaxYield} = +2{,}309 \cdot \boldsymbol{Lt} + 38{,}753 \cdot \boldsymbol{A} - 0{,}569 \cdot \boldsymbol{Sa} - 0{,}005 \cdot \boldsymbol{Rg} - 0{,}156 \cdot \boldsymbol{Vc}$$

Se puede comprobar, también en este caso, la bondad del ajuste que en el gráfico 5.4-36 se refleja en la proximidad y coincidencia de tendencia de los valores calculados (Ajuste) frente a los reales (Observado) y siempre dentro de los intervalos de confianza (LCS – LCI), creados para el 95% de probabilidad.

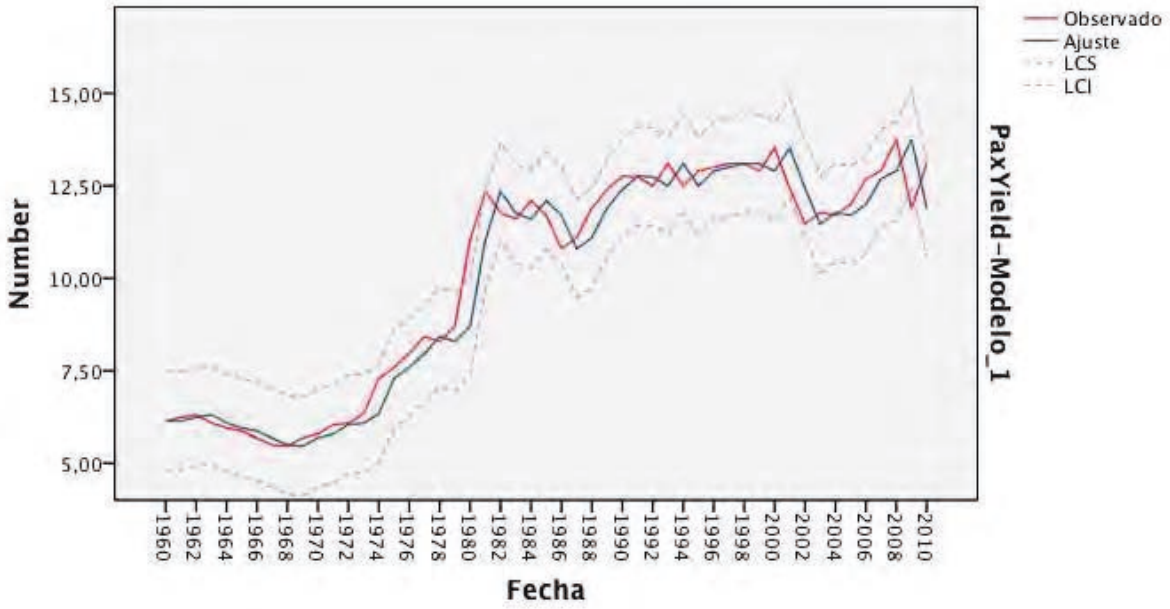


Gráfico 5.4-36 Gráfico del modelo PaxYield vs. valores observados con límites de confianza
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Este sería el sexto indicador modelado de 8 previstos. Se prosigue el calculo del modelo del indicador de rendimiento siguiente, en función de las mismas variables independientes y con el mismo procedimiento y los mismos contrastes.

5.4.7. GUY: Gallons per Unit (average aircraft) by Year.

1. **Objetivo:** Ajustar un modelo lineal que permita predecir el indicador GUY (Gallons per Unit by Year (Galones de combustible consumidos por una aeronave promedio de la flota a lo largo de un año) en función de la longitud total de la aeronave, el ancho del fuselaje, la superficie alar, el número de motores, la potencia unitaria de cada uno de estos motores, el número de pasajeros que puede transportar la aeronave en su configuración de máxima capacidad, número de tripulantes de cabina, alcance de la aeronave, velocidad de crucero y peso máximo al despegue.
2. **Variable dependiente:** GUY: Gallons per Unit by Year en (Galones/año).
3. **Variables independientes:**
    a. Longitud total de la aeronave: Lt en (m).
    b. Ancho del fuselaje: A (m).
    c. Superficie alar: SupAl (m^2).
    d. Número de motores: NºM.
    e. Potencia unitaria de cada motor: PotUd (kN).
    f. Número de pasajeros en su configuración de máxima capacidad: PaxMax.
    g. Número de tripulantes de cabina: CREW.
    h. Alcance de la aeronave: Rg (km).
    i. Velocidad de crucero: Vcru.
    j. Peso máximo al despegue: MTOW (t).

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m	PaxMax	Introducir

a Variable dependiente: Gallons_Ud_Year
b Alcanzado límite de tolerancia = ,000.

Tabla 5.4-48 Tabla resumen del SPSS del análisis lineal de regresión multivariante - GUY
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig	Intervalo de confianza (95,0% para B)	
		No estandarizados		Tipificados				
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	2,493E+07	1,022E+07		2,439	0,019	4,288E+06	4,557E+07
	Lt_m	-7,884E+04	3,772E+05	-0,554	-0,209	0,835	-8,407E+05	6,830E+05
	A_m	-1,455E+07	2,928E+06	-8,277	-4,97	0	-2,047E+07	-8,640E+06
	SupAl_m2	3,136E+05	9,886E+04	8,266	3,173	0,003	1,140E+05	5,133E+05
	NºM	-1,040E+06	7,358E+05	-0,788	-1,414	0,165	-2,526E+06	4,456E+05
	PotUd_kN	1,642E+05	5,323E+04	9,217	3,084	0,004	5,668E+04	2,717E+05
	Crew	4,467E+05	6,218E+05	0,457	0,718	0,477	-8,090E+05	1,702E+06
	Rg_Km	-2,144E+03	8,820E+02	-1,356	-2,431	0,02	-3,925E+03	-3,629E+02
	Vcru	6,910E+03	1,283E+04	1,231	0,538	0,593	-1,900E+04	3,282E+04
	MTOW_t	-2,463E+05	1,396E+05	-7,41	-1,765	0,085	-5,283E+05	3,560E+04

a Variable dependiente: Gallons_Ud_Year

Tabla 5.4-49 Coeficientes Modelo regresión lineal multivariante calculados por SPSS 20 - GUY.
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Los coeficientes de la ecuación del modelo de regresión lineal multivariante que permiten hallar el valor del indicador GUY en función de las variables explicativas o caracterizadoras son los que están en la columna B (Coeficientes no estandarizados), de manera que aparecen sucesivamente, el término independiente seguido del coeficiente de la variable explicativa de la columna –Modelo", así la ecuación resultante es (24):

$$\boldsymbol{GUY} = +2{,}493E^{+7} - 7{,}884E^{+4} \cdot \boldsymbol{Lt} - 1{,}455E^{+7} \cdot \boldsymbol{A} + 3{,}136E^{+5} \cdot \boldsymbol{Sa} +$$
$$-1{,}040E^{+6} \cdot \boldsymbol{N} + 1{,}642E^{+5} \cdot \boldsymbol{Pu} + 4{,}467E^{+5} \cdot \boldsymbol{Cr} - 2{,}144E^{+3} \cdot \boldsymbol{Rg} + 6{,}910E^{+3} \cdot \boldsymbol{Vc} - 2{,}463E^{+5} \cdot \boldsymbol{Mtow}$$

5. Inferencia sobre el modelo: validación del modelo multivariante

Como se explicó anteriormente, el significado de los parámetros que figura como contraste en primer lugar, está asegurado por el proceso de selección de los mismos. Por lo que procede ahora es ver la **significación estadística de la ecuación y de los parámetros,** para seguir luego con el resto.

a. **Significación individual de las variables:** Recordar que la utilidad de este proceso es verificar si cada variable aporta información significativa al análisis y que depende de las interrelaciones entre las variables y no es concluyente.

El contraste de hipótesis ($\boldsymbol{X_j^m}$):

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_j = 0}$$
$$H_1: \quad \boldsymbol{\beta_j \neq 0}$$

Aceptar H_0 significa que la variable —noaporta información significativa" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años, un número de variables explicativas o independientes de k=10 y una confianza del 95%, se obtuvo una t de Student (ver tabla 5.4-6, pág. 186, para t_{n-k-1}, es decir df=40) de t_{40}=2,021, de ello:

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	2,493E+07	1,022E+07		2,439	0,019
	Lt_m	-7,884E+04	3,772E+05	-0,554	-0,209	0,835
	A_m	-1,455E+07	2,928E+06	-8,277	-4,97	0
	SupAl_m2	3,136E+05	9,886E+04	8,266	3,173	0,003
	NºM	-1,040E+06	7,358E+05	-0,788	-1,414	0,165
	PotUd_kN	1,642E+05	5,323E+04	9,217	3,084	0,004
	Crew	4,467E+05	6,218E+05	0,457	0,718	0,477
	Rg_Km	-2,144E+03	8,820E+02	-1,356	-2,431	0,02
	Vcru	6,910E+03	1,283E+04	1,231	0,538	0,593
	MTOW_t	-2,463E+05	1,396E+05	-7,41	-1,765	0,085

a Variable dependiente: Gallons_Ud_Year

Tabla 5.4-50 Análisis de significación individual de las variables - GUY.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que son significativas las variables de Ancho en metros, Superficie Alar en metros cuadrados, Potencia unitaria de los motores en kilonewtons y Alcance en kilómetros, ya que el valor absoluto de la columna t de la tabla es mayor que la t_{40} obtenida de la tabla. Considerando que hay una variable excluida se podría evaluar t_{41} dando el mismo resultado. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig" para las variables significativas, es cero o prácticamente cero, lo que corrobora su significación.

De esta manera la ecuación del modelo GUY, se simplificaría al excluir a cinco variables independientes de las nueve consideradas, ya que la variable Paxmax fue excluida anteriormente por colinealidad, es decir, depender linealmente del resto de variables.

b. Significación de la constante: con este proceso se pretende verificar si la variable dependiente tiene media 0 cuando las variables explicativas se anulan.

En el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \beta_0 = 0$$
$$H_1: \quad \beta_0 \neq 0$$

Aceptar H_0 significa que —noes conveniente incluir un término constante" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años y una confianza del 95%, se

obtiene una t de Student (ver tabla 5.4-8, pág. 188, para t_{n-2}, es decir df=49) de t_{49}=2,0102, que se calcula interpolando linealmente t_{50}=2,009 y t_{40}=2,021.

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	2,493E+07	1,022E+07		2,439	0,019
	Lt_m	-7,884E+04	3,772E+05	-0,554	-0,209	0,835
	A_m	-1,455E+07	2,928E+06	-8,277	-4,97	0
	SupAl_m2	3,136E+05	9,886E+04	8,266	3,173	0,003
	NºM	-1,040E+06	7,358E+05	-0,788	-1,414	0,165
	PotUd_kN	1,642E+05	5,323E+04	9,217	3,084	0,004
	Crew	4,467E+05	6,218E+05	0,457	0,718	0,477
	Rg_Km	-2,144E+03	8,820E+02	-1,356	-2,431	0,02
	Vcru	6,910E+03	1,283E+04	1,231	0,538	0,593
	MTOW_t	-2,463E+05	1,396E+05	-7,41	-1,765	0,085

a Variable dependiente: Gallons_Ud_Year

Tabla 5.4-51 Análisis de significación del término independiente - GUY.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que t=2,439 > t_{49}=2,0102. Es decir, el valor absoluto es superior al de la tabla por lo que **hay que incluir la constante en el modelo**. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig" el valor es casi cero, lo que, corrobora su significación.

De esta manera la ecuación (25) del nuevo modelo ***GUY*** simplificado es:

$$\boldsymbol{GUY} = +2{,}493E^{+7} - 1{,}455E^{+7} \cdot \boldsymbol{A} + 3{,}136E^{+5} \cdot \boldsymbol{Sa} + 1{,}642E^{+5} \cdot \boldsymbol{Pu} - 2{,}144E^{+3} \cdot \boldsymbol{Rg}$$

c. **Bondad del ajuste:** para este análisis se descomponía la variabilidad en función de la fuente de dicha variabilidad, es decir se comparaba la variabilidad del modelo y la residual y se calculaban con las ecuaciones 10 y 11, los **Coeficientes de determinación** $\boldsymbol{R^2}$, donde R era el Coeficiente de correlación lineal múltiple e indicaba la mayor correlación entre Y (variable dependiente o de respuesta) y las combinaciones lineales de las variables explicativas o independientes y el de **determinación corregido** $\boldsymbol{\bar{R}^2}$ porque R^2 sobrevaloraba la bondad del ajuste.

$$R^2 = \frac{VE}{VT} = 1 - \frac{VNE}{VT} \qquad (10) \qquad\qquad \bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} R^2 \qquad (11)$$

Recordando que n sería el número de casos, para este estudio 51 que son los años estudiados y k sería el número de variables independientes o explicativas, que en este caso son 10, aunque en los cálculos de este indicador GUY debería utilizarse 9 porque una de las variables ha sido excluida por colinealidad (PaxMax) según se ve en la tabla adjunta proporcionada por el SPSS.

Variables excluidas[a]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad		
						Tolerancia	FIV	Tolerancia mínima
1	PaxMax	14,857[b]	1,507	,140	,232	7,628E-005	13109,270	7,628E-005

a. Variable dependiente: Gallons_Ud_Year

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Aplicando ahora al caso de estudio las ecuaciones 10 y 11, se obtienen los valores:

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,829[a]	,686	,618	402312,483	,686	9,975	9	41	,000	1,201

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: Gallons_Ud_Year

Se tiene un valor cercano a 0,7 en R^2, el indicador GUY queda explicado en casi un 70,0% por las variables explicativas según el modelo lineal considerado, lo cual en principio es suficiente para el modelo de este indicador. El coeficiente corregido $\bar{R}^2$ está cerca de 0,62 que también es un valor aceptable de casi el 62 %, que confirma lo anterior.

d. Contraste de regresión (ANOVA): se verificará que de forma conjunta las variables explicativas aportan información en la explicación de la variable de respuesta y el modelo es relevante.

Recordar que en el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_k = 0}$$
$$H_1: \quad Algún\ \boldsymbol{\beta_j \neq 0}$$

aceptar $\boldsymbol{H_0}$ significaba que –las variables explicativas no están relacionadas linealmente con la variable de respuesta" en el análisis de regresión realizado y el modelo no valía por irrelevante.

Es decir, si el estadístico de Fischer $F_{k,n-k-1}$ es menor que el valor calculado según la ecuación (12) de la página 190 y su significación es cero o prácticamente cero se puede rechazar $\boldsymbol{H_0}$.

ANOVA[a]

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1,453E+13	9	1,615E+12	9,975	,000[b]
	Residual	6,636E+12	41	1,619E+11		
	Total	2,117E+13	50			

a. Variable dependiente: Gallons_Ud_Year

b. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Al 5% se rechaza la hipótesis nula $\boldsymbol{H_0}$ por lo que las variables explicativas influyen de forma conjunta y lineal sobre la variable de respuesta. En la tabla 5.4-9 de la *Distribución-F* de Fischer de la página 191 se puede comprobar que el valor de $F_{9,41} = 1{,}34$ que es muy inferior al calculado por SPSS para este modelo, lo que en otros términos permite decir que la regresión considerada globalmente explica las variaciones intramuestrales de la variable endógena.

e. **Predicción. Bandas de confianza:** en el gráfico 5.4-31 se puede observar la suficiente bondad de la predicción, con unos índices de confianza para la media razonables. Esta vez las bandas de confianza del 95%, están más lejos, pero se corrobora como en el resto de contrastes la bondad del modelo.

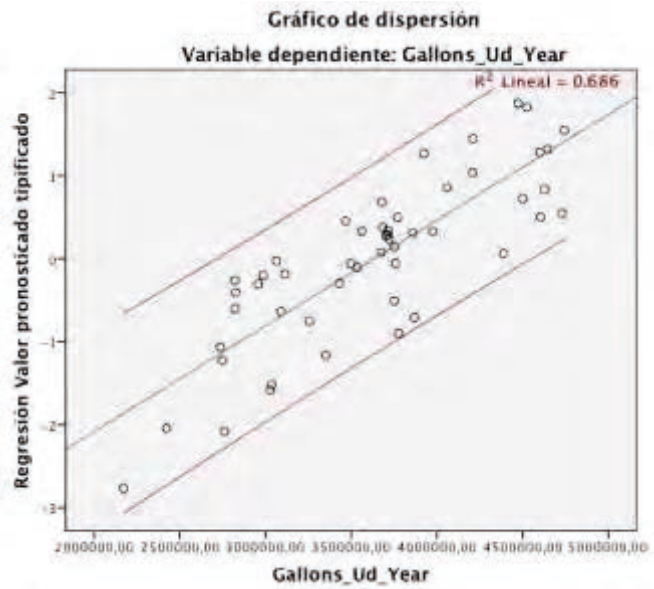


Gráfico 5.4-37 Gráfico de dispersión GUY vs. Valor pronosticado tipificado
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

f. Análisis de los residuos:

1. **Normalidad de los residuos:** dentro de las herramientas de análisis disponibles en SPSS 20, se van a utilizar el histograma y el gráfico probabilístico normal para verificar que efectivamente existe normalidad en los residuos.

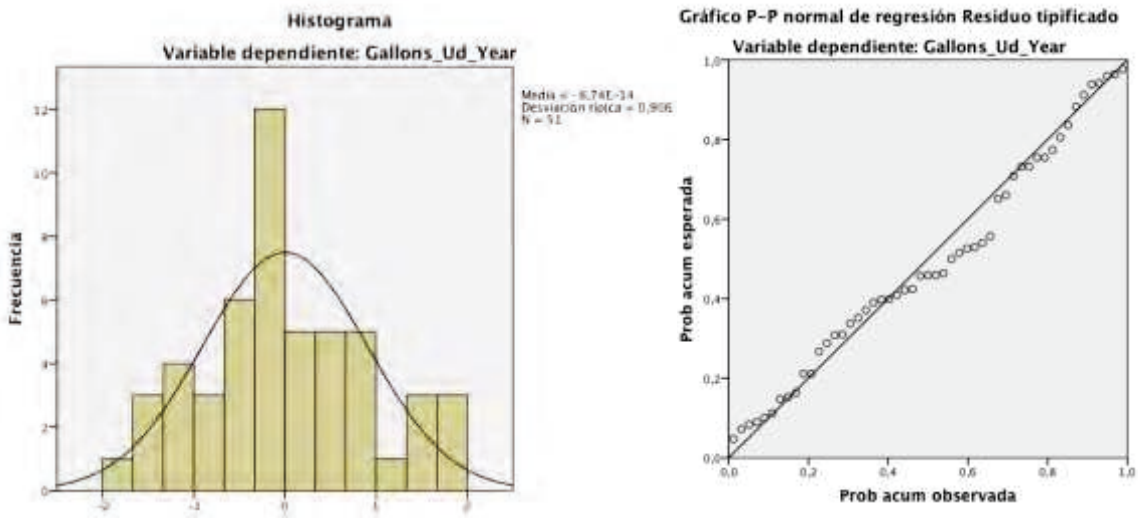


Gráfico 5.4-38/39 Histograma y gráfico probabilístico normal de residuos tipificados – GUY.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

En los gráficos se evidencia una tendencia a la normalidad suficiente, en comparación con una distribución normal (unimodal, simétrica y acampanada) señala similitudes aceptables.

2. **No autocorrelación:** hace referencia a la inercia de una observación a otra que pueda indicar la no independencia entre los residuos. El Test de Durbin-Watson permite evaluar si existe autocorrelación en una Regresión lineal, sea simple o múltiple.
   Se calcula el estadístico de Durbin-Watson d como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}(e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n} e_t^2} \qquad (13)$$

Recordar que el contraste de hipótesis tiene como Hipótesis nula que la autocorrelación es cero frente a la alternativa que afirma que es distinta de cero:

$$H_0: \quad \rho = 0 \quad \boldsymbol{no\ hay\ autocorrelación}$$
$$H_1: \quad \rho \neq 0 \quad \boldsymbol{si\ hay\ autocorrelació}$$

de forma que

$$d < d_L \; se \; rechaza \; H_0$$
$$d > d_U \; no \; se \; rechaza \; H_0$$
$$d_L < d < d_U \; test \; no \; decisivo$$

Se procede al cálculo una vez ya se justificó en la variable ASM_Ud toda la metodología.

En las tablas pueden verse los valores críticos de Durbin-Watson que permiten tomar la decisión de mantener la Hipótesis nula, pasar a la Hipótesis alternativa o permite estar en una zona de indecisión, buscando para *Critical Values for the Durbin-Watson Test: 5% Significance Level T=6 to 100, K=2 to 21 (K <= T-4) K no intercept* en el link de la Universidad de Standford (http://web.stanford.edu/~clint/bench/dw05a.htm), se ha obtenido para T=51 y K=9 unos valores de d_L=0,9274 y d_U=2,2174. Si se tiene en cuenta que el valor calculado con la expresión (13) por el software SPSS-20 es d =1,134; se puede colegir que la prueba no es concluyente y el test no se considera decisivo.

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,829[a]	,686	,618	402312,483	,686	9,975	9	41	,000	1,201

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, N°M, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: Gallons_Ud_Year

3. **Homocedasticidad:** hace referencia a la constancia de los residuos para los valores que van tomando las variables independientes. Recordar que como se explicó en la primer KPI estudiada (ASM_Ud), cuando el término de perturbación es homocedástico los residuos se comportan igual independientemente de los valores de las variables explicativas.

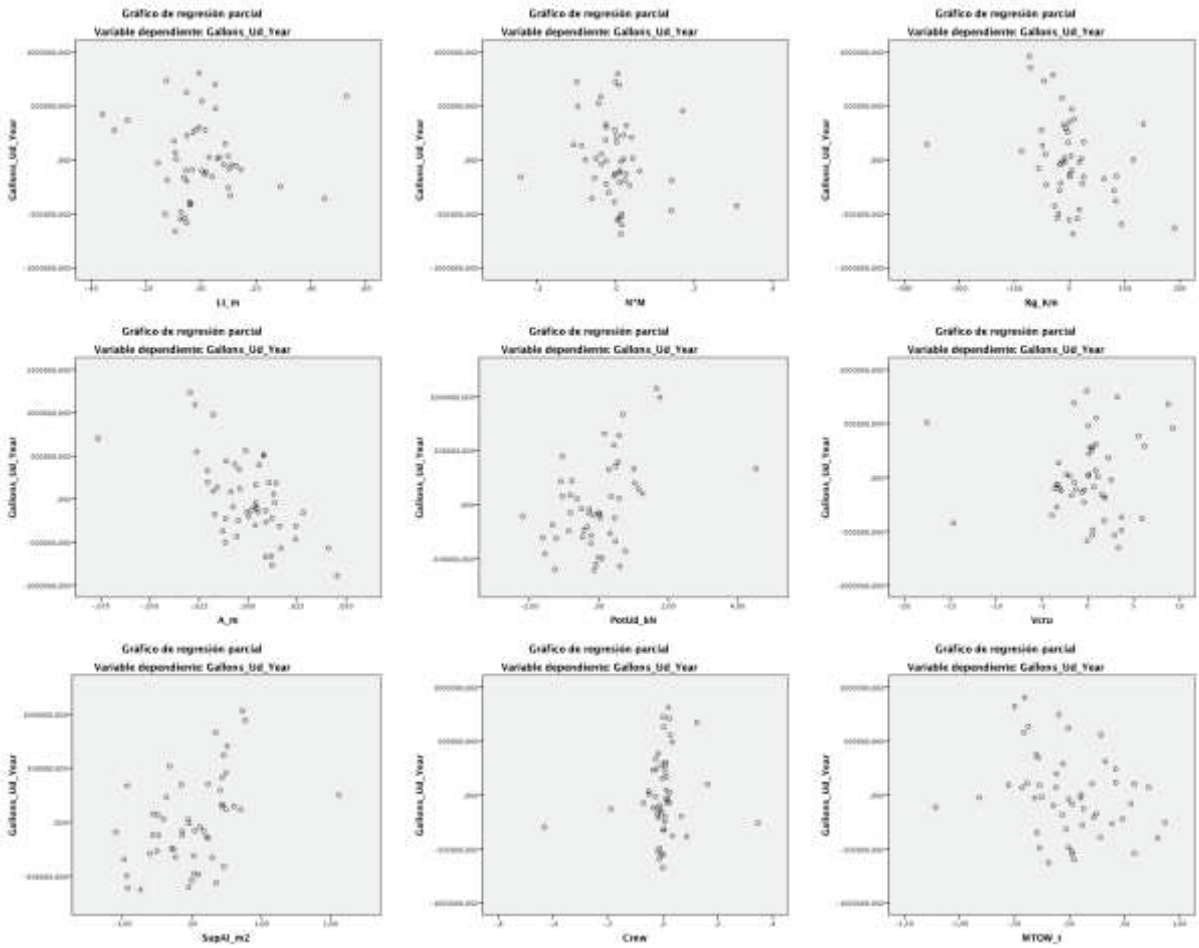


Gráfico 5.4-40 Gráficos de dispersión: regresiones parciales v. explicativas vs. v. respuesta–GUY
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

La aleatoriedad garantiza la homocedasticidad, porque si se viera alguna tendencia en función de las diferentes variables explicativas habría heterocedasticidad para esa variable. Lo que significaría un comportamiento de la varianza no constante en el término de perturbación. A la vista de los gráficos se puede aceptar la hipótesis de homocedasticidad en los residuos.

4. **Falta de linealidad:** hace referencia a las posibles desviaciones de los datos desde el modelo lineal que se está ajustando.

Como se comentó en el análisis del primer KPI (ASM_Ud), una forma sencilla de analizar la existencia de relación lineal entre las variables en el modelo especificado consiste en la observación del gráfico resultante de representar sobre un plano los valores de los errores de la regresión (residuos tipificados o estudentizados) con los valores ajustados o pronosticados de la endógena (Gráfico 5.4-41). Aunque también se pueden observar los gráficos de la variable respuesta con cada una de las variables explicativas (ver el apartado anterior el gráfico 5.4-40). Si en cualquiera de estos gráficos se apreciara un comportamiento sistemático, se podría sospechar que la especificación lineal no es la más adecuada.

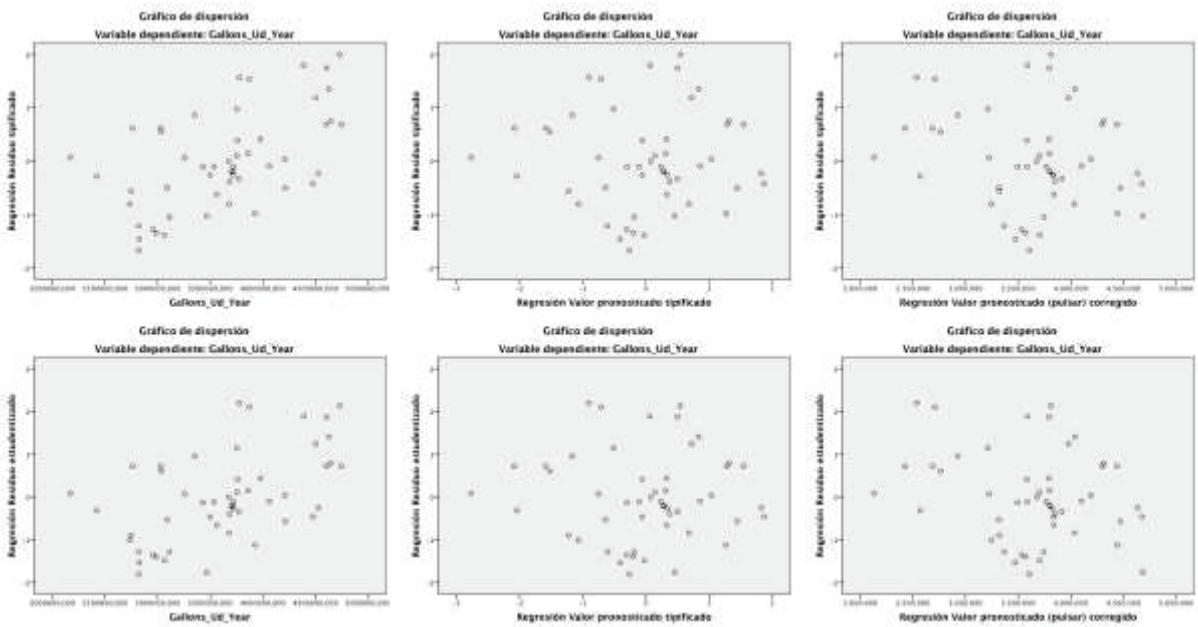


Gráfico 5.4-41 Gráficos de dispersión de regresiones v.endógena y valores pronosticados corregidos y sin corregir vs. residuos tipificados y estudentizados, para GUY.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Como se puede observar no existe comportamiento sistemático lo cual garantiza la falta de linealidad.

5. **No multicolinealidad:** recordar que hace referencia a la posible colinealidad, que es la asociación, medida como correlación, entre dos variables explicativas (el término multicolinealidad se utiliza para tres o más variables explicativas). La utilización de varias variables como predictores, hace necesaria la evaluación de la correlación múltiple entre las variables independientes como medio de evaluar la multicolinealidad. [1]

El **impacto de la multicolinealidad** y la justificación estadística de la metodología, se describe en los cálculos del primer KPI (ASM_Ud).

El software SPSS-20 que se ha utilizado para esta tesis calcula el **índice de condicionamiento** y la **matriz de descomposición de la varianza del coeficiente de regresión** además de unos estimadores que son el **FIV** (factor de inflación de la varianza) y los valores de la **tolerancia.**

Siguiendo el procedimiento ya explicado en sus **dos partes**:

3. **Identificar los índices de condicionamiento que estén por encima de un valor límite,** habitualmente con 30 como valor más utilizado. Por ello se buscarán los índices de condicionamiento que estén por encima del umbral: 30.
4. Para todos los índices de condicionamiento que excedan el umbral, identificar las variables con proporciones de varianza por encima del 90%.

Diagnósticos de colinealidad[a]

Modelo	Dimensión	Autovalores	Índice de condición	Proporciones de la varianza									
				(Constante)	Lt_m	A_m	SupAl_m2	N°M	PotUd_kN	Crew	Rg_Km	Vcru	MTOW_t
1	1	9,751	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	,221	6,649	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	3	,022	20,891	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,00
	4	,004	49,931	,00	,00	,00	,00	,01	,01	,05	,00	,00	,00
	5	,002	72,521	,00	,00	,00	,00	,06	,00	,01	,00	,00	,00
	6	,001	131,866	,00	,00	,00	,00	,57	,00	,64	,04	,00	,00
	7	,000	297,907	,02	,01	,10	,00	,08	,00	,20	,14	,05	,00
	8	2,115E-005	678,968	,51	,03	,32	,01	,14	,08	,01	,34	,22	,06
	9	7,823E-006	1116,455	,45	,95	,09	,00	,01	,03	,01	,00	,69	,15
	10	5,979E-006	1277,027	,02	,01	,50	,99	,12	,88	,08	,47	,03	,79

a. Variable dependiente: Gallons_Ud_Year

>30

>90%

Tabla 5.4-52 Diagnósticos de multicolinealidad: índices de condicionamiento y matriz de proporciones de la varianza, para GUY.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Habrá multicolinealidad cuando un índice de condicionamiento identificado en el primer paso por encima del valor del umbral, tiene en cuenta una proporción sustancial de la varianza de dos o más coeficientes. Se puede ver en la tabla 5.4-50 de diagnóstico de colinealidad de SPSS-20 que hay 7 índices de condicionamiento claramente por encima de 30,

correspondientes a las dimensiones de 4 a 10, pero se puede ver en la matriz de descomposición de la varianza (proporciones de la varianza), que ningún índice de condicionamiento tiene dos o mas coeficientes con una proporción de la varianza por encima del 90%. De hecho se han marcado los dos únicos casos que es así y se corresponden a dos coeficientes índices distintos. Por ello no se observa colinealidad y se puede seguir con el proceso de validación y contraste.

g. **Datos anómalos y Medidas de influencia:** el objetivo es detectar datos anómalos y datos influyentes, entendiendo como datos anómalos o atípicos a los individuos cuyo residuos tipificado es superior a 3 (en valor absoluto) y como datos influyentes a aquellos individuos cuya omisión produce cambios notables en los resultados del análisis. En nuestro caso los individuos son los aviones tipo de cada año.

A partir de estos conceptos definidos en el Hair [1], ya explicados y utilizados en el apartado correspondiente del estudio del primer KPI y utilizando la herramienta estadística SSPS-20 como hasta ahora, se calcularán los siguientes:

≠ **Detección de residuos atípicos:** Los valores tipificados de los residuos deben estar entre -3 y 3. Según se puede ver en la tabla 5.4.51, no existe ningún residuo tipificado fuera de tolerancia todos están dentro del intervalo [-1,669 ; 1,993] lo que se considera válido. En este caso ya se podía ver en el histograma representado en el gráfico 5.4-38.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	2142192,75	4643334,00	3633993,66	539092,741	51
Residual	-671618,44	801945,250	,000000	364309,448	51
Valor pronosticado tip.	-2,767	1,872	,000	1,000	51
Residuo típ.	-1,669	1,993	,000	,906	51

a. Variable dependiente: Gallons_Ud_Year

Tabla 5.4-53 Estadísticos sobre los residuos para detección de atípicos, para GUY.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

≠ **Detección de puntos influyentes:**

- El rango de valores para la **distancia de Mahalanobis** no es elevado, varía entre un mínimo equivalente al valor medio menos 0,8482 σ y un máximo calculado como valor medio más 3,2655 σ. Es decir un rango aproximado de ±2 σ con sesgo hacia la derecha. Según se puede ver en la tabla 5.4-52
- Hay valores de la **distancia de Cook** ligeramente superiores al valor máximo calculado como 4 / (n-k-1) = 4 / (51-10-1)= 0,10. Pero muy inferiores a 1 por lo que no es peligrosa su influencia.
- **Medida de influencia:** (k+1)/n = (10+1)/51 =0,215686, valor muy inferior a 1 que corrobora la no influencia peligrosa de ningún valor. En la Tabla 5.4-52 el valor medio es 0,176 y el máximo 0,670.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	2142192,75	4643334,00	3633993,66	539092,741	51
Valor pronosticado tip.	-2,767	1,872	,000	1,000	51
Error típico de valor pronosticado	104906,102	334002,063	168564,339	58213,844	51
Valor pronosticado corregido	2130501,50	4681284,00	3642812,33	590047,788	51
Residual	-671618,44	801945,250	,000000	364309,448	51
Residuo típ.	-1,669	1,993	,000	,906	51
Residuo estud.	-1,803	2,199	-,006	1,039	51
Residuo eliminado	-1214617,3	1242461,88	-8818,6760	500853,213	51
Residuo eliminado estud.	-1,857	2,312	-,001	1,063	51
Dist. de Mahalanobis	2,419	33,482	8,824	7,551	51
Distancia de Cook	,000	,602	,046	,116	51
Valor de influencia centrado	,048	,670	,176	,151	51

a. Variable dependiente: Gallons_Ud_Year

Tabla 5.4-54 Estadísticos sobre los residuos para puntos influyentes, para GUY.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Una vez realizados todos los contrastes, se puede dar por bueno el modelo de predicción de la variable respuesta o dependiente Gallons per Unit by Year (GUY) en función de las diez variables explicativas o independientes utilizadas. Como además se ha podido comprobar el grado de significación de los diferentes términos, se toma como primera ecuación del modelo global la (25) del nuevo modelo ***GUY*** simplificado, que es:

$$\boldsymbol{GUY} = +2{,}493E^{+7} - 1{,}455E^{+7} \cdot \boldsymbol{A} + 3{,}136E^{+5} \cdot \boldsymbol{Sa} + 1{,}642E^{+5} \cdot \boldsymbol{Pu} - 2{,}144E^{+3} \cdot \boldsymbol{Rg}$$

Se puede comprobar, también en este caso, la bondad del ajuste que en el gráfico 5.4-42 se refleja en la proximidad y coincidencia de tendencia de los valores calculados (Ajuste) frente a los reales (Observado) y siempre dentro de los intervalos de confianza (LCS – LCI), creados para el 95% de probabilidad.

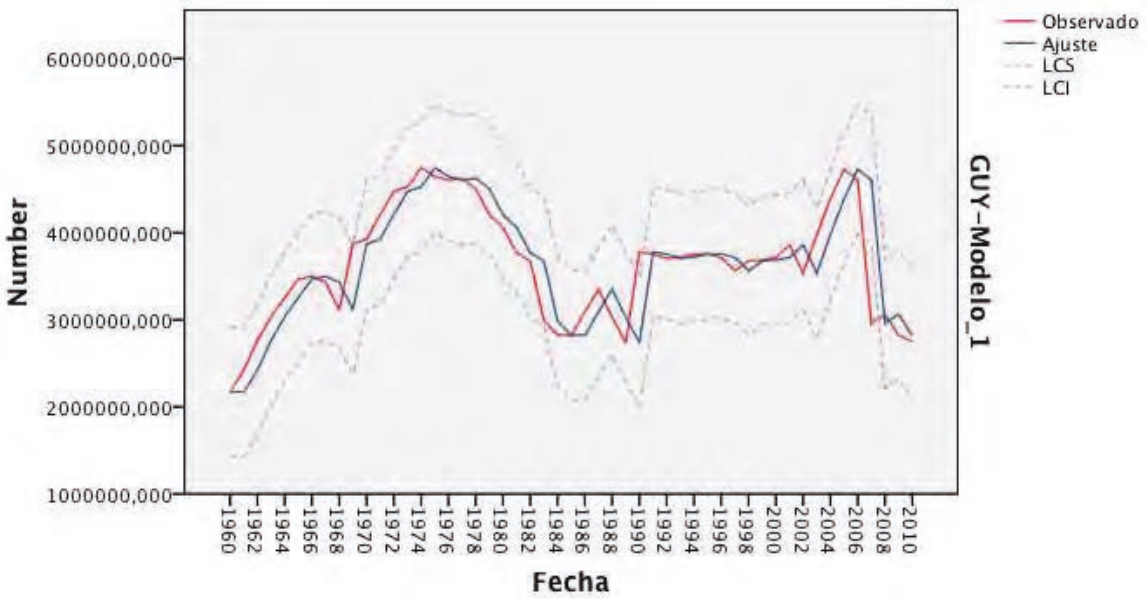


Gráfico 5.4-42 Gráfico del modelo GUY vs. valores observados con límites de confianza
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Este sería el séptimo indicador modelado de los 8 previstos. Se prosiguen los cálculos del último modelo del indicador de rendimiento, en función de las mismas variables independientes y con el mismo procedimiento y los mismos contrastes.

5.4.8. ATM: Average Trip Miles.

1. **Objetivo:** Ajustar un modelo lineal que permita predecir el indicador ATM (Average Trip Miles – Recorrido medio por viaje en millas) en función de la longitud total de la aeronave, el ancho del fuselaje, la superficie alar, el número de motores, la potencia unitaria de cada uno de estos motores, el número de pasajeros que puede transportar la aeronave en su configuración de máxima capacidad, número de tripulantes de cabina, alcance de la aeronave, velocidad de crucero y peso máximo al despegue.
2. **Variable dependiente:** ATM: Average Trip Miles (Millas).
3. **Variables independientes:**
    a. Longitud total de la aeronave: Lt en (m).
    b. Ancho del fuselaje: A (m).
    c. Superficie alar: SupAl (m^2).
    d. Número de motores: NºM.
    e. Potencia unitaria de cada motor: PotUd (kN).
    f. Número de pasajeros en su configuración de máxima capacidad: PaxMax.
    g. Número de tripulantes de cabina: CREW.
    h. Alcance de la aeronave: Rg (km).
    i. Velocidad de crucero: Vcru.
    j. Peso máximo al despegue: MTOW (t).

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m	PaxMax	Introducir

a Variable dependiente: Average_Trip_Miles
b Alcanzado límite de tolerancia = ,000.

Tabla 5.4-55 Tabla resumen del SPSS del análisis lineal de regresión multivariante - ATM
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig	Intervalo de confianza (95,0% para B)	
		No estandarizados		Tipificados				
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-451,113	695,972		-0,648	0,52	-1.856,657	954,431
	Lt_m	69,079	25,687	2,83	2,689	0,01	17,204	120,955
	A_m	-75,127	199,373	-0,249	-0,377	0,708	-477,770	327,515
	SupAl_m2	5,487	6,732	0,843	0,815	0,42	-8,107	19,082
	NºM	-43,636	50,101	-0,193	-0,871	0,389	-144,816	57,544
	PotUd_kN	6,116	3,624	2,001	1,687	0,099	-1,204	13,436
	Crew	24,235	42,341	0,144	0,572	0,57	-61,274	109,745
	Rg_Km	0,014	0,060	0,052	0,235	0,815	-0,107	0,135
	Vcru	-1,869	0,874	-1,941	-2,139	0,038	-3,633	-0,104
	MTOW_t	-13,382	9,507	-2,345	-1,408	0,167	-32,581	5,817

a Variable dependiente: Average_Trip_Miles

Tabla 5.4-56 Coeficientes Modelo regresión lineal multivariante calculados por SPSS 20 - ATM.
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS 20 y datos de ATA (Air Transport Association of America). I[13]

Los coeficientes de la ecuación del modelo de regresión lineal multivariante que permiten hallar el valor del indicador ATM en función de las variables explicativas o caracterizadoras son los que están en la columna B (Coeficientes no estandarizados), de manera que aparecen sucesivamente, el término independiente seguido del coeficiente de la variable explicativa de la columna –Modelo", así la ecuación resultante es (26):

$$\boldsymbol{ATM} = -451{,}113 + 69{,}079 \cdot \boldsymbol{Lt} - 75{,}127 \cdot \boldsymbol{A} + 5{,}487E^{+2} \cdot \boldsymbol{Sa} +$$
$$-43{,}636 \cdot \boldsymbol{N} + 6{,}116 \cdot \boldsymbol{Pu} + 24{,}235 \cdot \boldsymbol{Cr} + 0{,}014 \cdot \boldsymbol{Rg} - 1{,}869 \cdot \boldsymbol{Vc} - 13{,}382 \cdot \boldsymbol{Mtow}$$

4. Inferencia sobre el modelo: validación del modelo multivariante

Como se explicó anteriormente, el significado de los parámetros que figura como contraste en primer lugar, está asegurado por el proceso de selección de los mismos. Por lo que procede ahora es ver la **significación estadística de la ecuación y de los parámetros,** para seguir luego con el resto.

a. Significación individual de las variables: Recordar que la utilidad de este proceso es verificar si cada variable aporta información significativa al análisis y que depende de las interrelaciones entre las variables y no es concluyente.

El contraste de hipótesis ($\boldsymbol{X_j^m}$):

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_j = 0}$$
$$H_1: \quad \boldsymbol{\beta_j \neq 0}$$

Aceptar H_0 significa que la variable —nœaporta información significativa" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años, un número de variables explicativas o independientes de k=10 y una confianza del 95%, se obtuvo una t de Student (ver tabla 5.4-6, pág. 186, para t_{n-k-1}, es decir df=40) de t_{40}=2,021, de ello:

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-451,113	695,972		-0,648	0,52
	Lt_m	69,079	25,687	2,83	2,689	0,01
	A_m	-75,127	199,373	-0,249	-0,377	0,708
	SupAl_m2	5,487	6,732	0,843	0,815	0,42
	NºM	-43,636	50,101	-0,193	-0,871	0,389
	PotUd_kN	6,116	3,624	2,001	1,687	0,099
	Crew	24,235	42,341	0,144	0,572	0,57
	Rg_Km	0,014	0,060	0,052	0,235	0,815
	Vcru	-1,869	0,874	-1,941	-2,139	0,038
	MTOW_t	-13,382	9,507	-2,345	-1,408	0,167

a Variable dependiente: Average_Trip_Miles

Tabla 5.4-57 Análisis de significación individual de las variables - ATM.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que sólo son significativas las variables de Longitud total de la aeronave en metros y la Velocidad de crucero en kilómetros por hora, ya que el valor absoluto de la columna t de la tabla es mayor que la t_{40} obtenida de la tabla. Considerando que hay una variable excluida se podría evaluar t_{41} dando el mismo resultado. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig" para las variables significativas, es cero o prácticamente cero, lo que corrobora su significación.

De esta manera la ecuación del modelo ATM, se simplificaría al excluir a siete variables independientes de las nueve consideradas, ya que la variable Paxmax fue excluida anteriormente por colinealidad, es decir, depender linealmente del resto de variables.

b. Significación de la constante: con este proceso se pretende verificar si la variable dependiente tiene media 0 cuando las variables explicativas se anulan.

En el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \beta_0 = 0$$
$$H_1: \quad \beta_0 \neq 0$$

Aceptar H_0 significa que —no es conveniente incluir un término constante" en el análisis de regresión realizado. Que para un histórico de n=51 años y una confianza del 95%, se

obtiene una t de Student (ver tabla 5.4-8, pág. 188, para t_{n-2}, es decir df=49) de t_{49}=2,0102, que se calcula interpolando linealmente t_{50}=2,009 y t_{40}=2,021.

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes			t	Sig
		No estandarizados		Tipificados		
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-451,113	695,972		-0,648	0,52
	Lt_m	69,079	25,687	2,83	2,689	0,01
	A_m	-75,127	199,373	-0,249	-0,377	0,708
	SupAl_m2	5,487	6,732	0,843	0,815	0,42
	NºM	-43,636	50,101	-0,193	-0,871	0,389
	PotUd_kN	6,116	3,624	2,001	1,687	0,099
	Crew	24,235	42,341	0,144	0,572	0,57
	Rg_Km	0,014	0,060	0,052	0,235	0,815
	Vcru	-1,869	0,874	-1,941	-2,139	0,038
	MTOW_t	-13,382	9,507	-2,345	-1,408	0,167

a Variable dependiente: Average_Trip_Miles

Tabla 5.4-58 Análisis de significación del término independiente - ATM.
Fuente: SPSS 20 para esta tesis.

Donde se puede observar que t=-0,648 y por tanto $|t| < t_{49}$=2,0102. Es decir, el valor absoluto es muy inferior al de la tabla por lo que **no hay que incluir la constante en el modelo**. Se puede ver asimismo que el valor de la columna "Sig" el valor es mayor de cero, lo que, corrobora su no significación.

De esta manera la ecuación (27) del nuevo modelo ***ATM*** simplificado es:

$$\boldsymbol{ATM} = +69{,}079 \cdot \boldsymbol{Lt} - 1{,}869 \cdot \boldsymbol{Vc}$$

c. **Bondad del ajuste:** para este análisis se descomponía la variabilidad en función de la fuente de dicha variabilidad, es decir se comparaba la variabilidad del modelo y la residual y se calculaban con las ecuaciones 10 y 11, los **Coeficientes de determinación** $\boldsymbol{R^2}$, donde R era el Coeficiente de correlación lineal múltiple e indicaba la mayor correlación entre Y (variable dependiente o de respuesta) y las combinaciones lineales de las variables explicativas o independientes y el de **determinación corregido** $\boldsymbol{\bar{R}^2}$ porque R^2 sobrevaloraba la bondad del ajuste.

$$R^2 = \frac{VE}{VT} = 1 - \frac{VNE}{VT} \qquad (10) \qquad\qquad \bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} R^2 \qquad (11)$$

Recordando que n sería el número de casos, para este estudio 51 que son los años estudiados y k sería el número de variables independientes o explicativas, que en este caso son 10, aunque en los cálculos de este indicador ATM debería utilizarse 9 porque una de las variables ha sido excluida por colinealidad (PaxMax) según se ve en la tabla adjunta proporcionada por el SPSS.

Variables excluidas[a]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad		
						Tolerancia	FIV	Tolerancia mínima
1	PaxMax	9,507[b]	2,548	,015	,374	7,628E-005	13109,270	7,628E-005

a. Variable dependiente: Average_Trip_Miles

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Aplicando ahora al caso de estudio las ecuaciones 10 y 11, se obtienen los valores:

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,975[a]	,951	,940	27,39518	,951	87,733	9	41	,000	1,390

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: Average_Trip_Miles

Como $R^2 = 0{,}975$, el indicador ATM queda explicado en un 97,5% por las variables explicativas según el modelo lineal considerado, lo cual en principio asegura el éxito del modelo para este indicador. El coeficiente corregido $\bar{R}^2 = 0{,}951$, que también es un excelente valor del 95,1 %, que confirma lo anterior.

d. Contraste de regresión (ANOVA): se verificará que de forma conjunta las variables explicativas aportan información en la explicación de la variable de respuesta y el modelo es relevante.

Recordar que en el contraste de hipótesis:

$$H_0: \quad \boldsymbol{\beta_1} = \boldsymbol{\beta_2} = \cdots = \boldsymbol{\beta_k} = \mathbf{0}$$
$$H_1: \quad Algún\ \boldsymbol{\beta_j} \neq \mathbf{0}$$

aceptar $\boldsymbol{H_0}$ significaba que –las variables explicativas no están relacionadas linealmente con la variable de respuesta" en el análisis de regresión realizado y el modelo no valía por irrelevante.

Es decir, si el estadístico de Fischer $F_{k,n-k-1}$ es menor que el valor calculado según la ecuación (12) de la página 190 y su significación es cero o prácticamente cero se puede rechazar $\boldsymbol{H_0}$.

ANOVA[a]

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	592589,831	9	65843,315	87,733	,000[b]
	Residual	30770,338	41	750,496		
	Total	623360,169	50			

a. Variable dependiente: Average_Trip_Miles

b. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

Al 5% se rechaza la hipótesis nula $\boldsymbol{H_0}$ por lo que las variables explicativas influyen de forma conjunta y lineal sobre la variable de respuesta. En la tabla 5.4-9 de la *Distribución-F* de Fischer de la página 191 se puede comprobar que el valor de $F_{9,41} = 1{,}34$ que es muy inferior al calculado por SPSS para este modelo, lo que en otros términos permite decir que la regresión considerada globalmente explica las variaciones intramuestrales de la variable endógena.

e. Predicción. Bandas de confianza: en el gráfico 5.4-43 se puede observar la bondad de la predicción, con unos índices de confianza para la media muy altos. Y apenas hay valores fuera de las bandas de confianza del 95%, corroborando como el resto de contrastes la bondad del modelo.

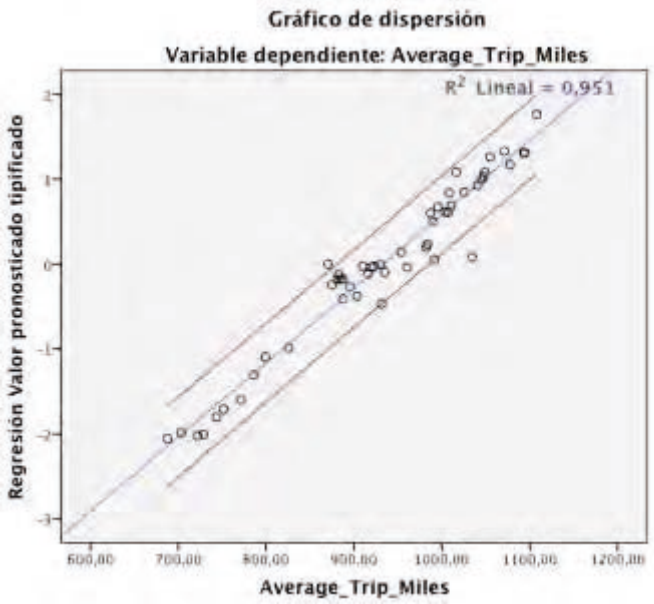


Gráfico 5.4-43 Gráfico de dispersión ATM vs. Valor pronosticado tipificado
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

f. Análisis de los residuos:

1. **Normalidad de los residuos:** dentro de las herramientas de análisis disponibles en SPSS 20, se van a utilizar el histograma y el gráfico probabilístico normal para verificar que efectivamente existe normalidad en los residuos.

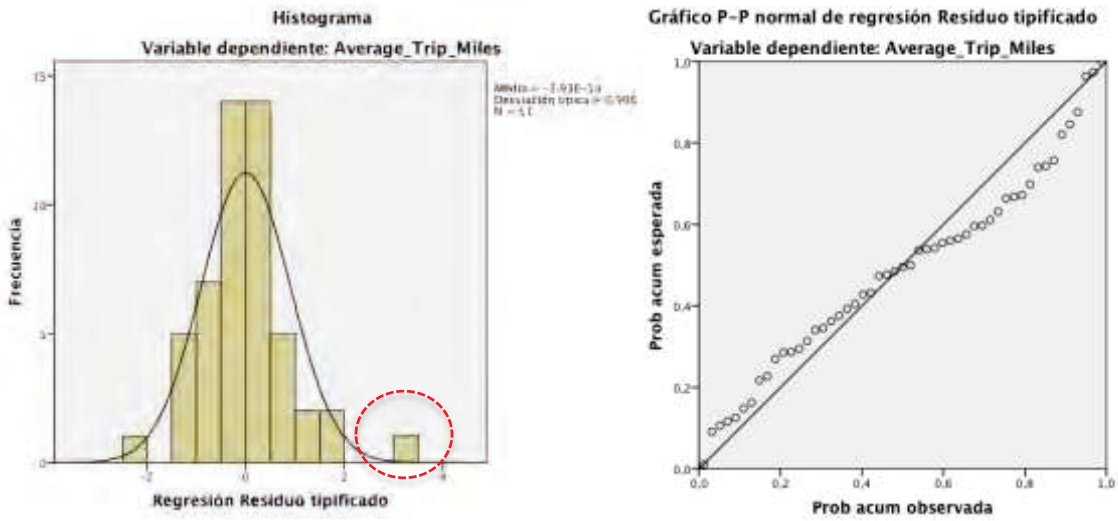


Gráfico 5.4-44/45 Histograma y gráfico probabilístico normal de residuos tipificados – ATM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

En los gráficos se evidencia una tendencia a la normalidad suficiente, en comparación con una distribución normal (unimodal, simétrica y acampanada) señala similitudes aceptables. Se han remarcado no obstante los residuos por encima de 3, por si en conjunto con otros parámetros terminan teniendo alguna relevancia.

2. **No autocorrelación:** hace referencia a la inercia de una observación a otra que pueda indicar la no independencia entre los residuos. El Test de Durbin-Watson permite evaluar si existe autocorrelación en una Regresión lineal, sea simple o múltiple.
   Se calcula el estadístico de Durbin-Watson d como:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^{n}(e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n} e_t^2} \qquad (13)$$

Recordar que el contraste de hipótesis tiene como Hipótesis nula que la autocorrelación es cero frente a la alternativa que afirma que es distinta de cero:

$$H_0: \quad \rho = 0 \quad \textit{no hay autocorrelación}$$
$$H_1: \quad \rho \neq 0 \quad \textit{si hay autocorrelació}$$

de forma que

$$d < d_L \; se\; rechaza\; H_0$$

$$d > d_U \; no\; se\; rechaza\; H_0$$

$$d_L < d < d_U \; test\; no\; decisivo$$

Se procede al cálculo una vez ya se justificó en la variable ASM_Ud toda la metodología.

En las tablas pueden verse los valores críticos de Durbin-Watson que permiten tomar la decisión de mantener la Hipótesis nula, pasar a la Hipótesis alternativa o permite estar en una zona de indecisión, buscando para *Critical Values for the Durbin-Watson Test: 5% Significance Level T=6 to 100, K=2 to 21 (K <= T-4) K no intercept* en el link de la Universidad de Standford (http://web.stanford.edu/~clint/bench/dw05a.htm), se ha obtenido para T=51 y K=9 unos valores de d_L=0,9274 y d_U=2,2174. Si se tiene en cuenta que el valor calculado con la expresión (13) por el software SPSS-20 es d =1,390; se puede colegir que la prueba no es concluyente y el test no se considera decisivo.

Resumen del modelo[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,975[a]	,951	,940	27,39518	,951	87,733	9	41	,000	1,390

a. Variables predictoras: (Constante), MTOW_t, Rg_Km, NºM, PotUd_kN, Crew, Vcru, A_m, SupAl_m2, Lt_m

b. Variable dependiente: Average_Trip_Miles

3. **Homocedasticidad:** hace referencia a la constancia de los residuos para los valores que van tomando las variables independientes. Recordar que como se explicó en la primer KPI estudiada (ASM_Ud), cuando el término de perturbación es homocedástico los residuos se comportan igual independientemente de los valores de las variables explicativas.

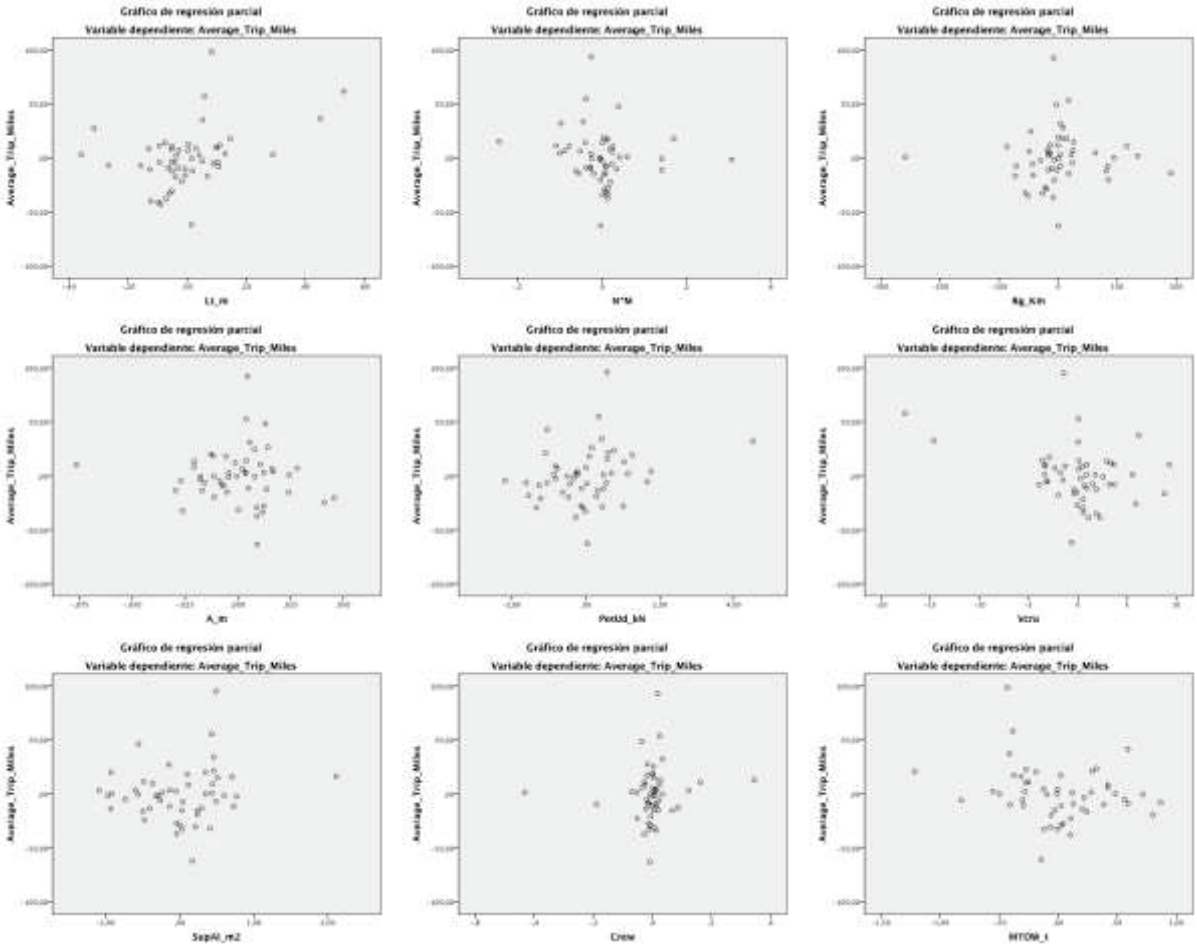


Gráfico 5.4-46 Gráficos de dispersión: regresiones parciales v. explicativas vs. v. respuesta–ATM
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

La aleatoriedad garantiza la homocedasticidad, porque si se viera alguna tendencia en función de las diferentes variables explicativas habría heterocedasticidad para esa variable. Lo que significaría un comportamiento de la varianza no constante en el término de perturbación. A la vista de los gráficos se puede aceptar la hipótesis de homocedasticidad en los residuos.

4. **Falta de linealidad:** hace referencia a las posibles desviaciones de los datos desde el modelo lineal que se está ajustando.

Como se comentó en el análisis del primer KPI (ASM_Ud), una forma sencilla de analizar la existencia de relación lineal entre las variables en el modelo especificado consiste en la observación del gráfico resultante de representar sobre un plano los valores de los errores de la regresión (residuos tipificados o estudentizados) con los valores ajustados o pronosticados de la endógena (Gráfico 5.4-47). Aunque también se pueden observar los gráficos de la variable respuesta con cada una de las variables explicativas (ver el apartado anterior el gráfico 5.4-46). Si en cualquiera de estos gráficos se apreciara un comportamiento sistemático, se podría sospechar que la especificación lineal no es la más adecuada.

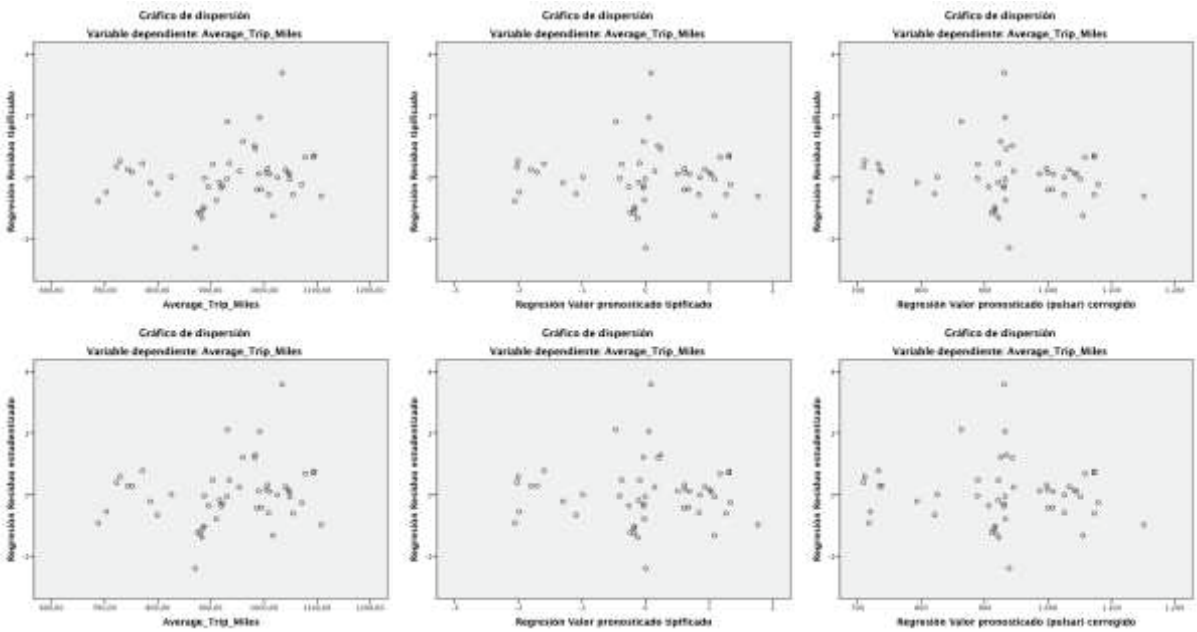


Gráfico 5.4-47 Gráficos de dispersión de regresiones v.endógena y valores pronosticados corregidos y sin corregir vs. residuos tipificados y estudentizados, para ATM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Como se puede observar no existe comportamiento sistemático lo cual garantiza la falta de linealidad.

5. **No multicolinealidad:** recordar que hace referencia a la posible colinealidad, que es la asociación, medida como correlación, entre dos variables explicativas (el término multicolinealidad se utiliza para tres o más variables explicativas). La utilización de varias variables como predictores, hace necesaria la evaluación de la correlación múltiple entre las variables independientes como medio de evaluar la multicolinealidad. [1]

El **impacto de la multicolinealidad** y la justificación estadística de la metodología, se describe en los cálculos del primer KPI (ASM_Ud).

El software SPSS-20 que se ha utilizado para esta tesis calcula el **índice de condicionamiento** y la **matriz de descomposición de la varianza del coeficiente de regresión** además de unos estimadores que son el **FIV** (factor de inflación de la varianza) y los valores de la **tolerancia.**

Siguiendo el procedimiento ya explicado en sus **dos partes**:

1. **Identificar los índices de condicionamiento que estén por encima de un valor límite,** habitualmente con 30 como valor más utilizado. Por ello se buscarán los índices de condicionamiento que estén por encima del umbral: 30.
2. Para todos los índices de condicionamiento que excedan el umbral, identificar las variables con proporciones de varianza por encima del 90%.

Diagnósticos de colinealidad[a]

Modelo	Dimensión	Autovalores	Índice de condición	Proporciones de la varianza									
				(Constante)	Lt_m	A_m	SupAl_m2	N°M	PotUd_kN	Crew	Rg_Km	Vcru	MTOW_t
1	1	9,751	1,000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	2	,221	6,649	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
	3	,022	20,891	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,00	,00	,00	,00
	4	,004	49,931	,00	,00	,00	,00	,01	,01	,05	,00	,00	,00
	5	,002	72,521	,00	,00	,00	,00	,06	,00	,01	,00	,00	,00
	6	,001	151,866	,00	,00	,00	,00	,57	,00	,64	,04	,00	,00
	7	,000	297,907	,02	,01	,10	,00	,08	,00	,20	,14	,05	,00
	8	2,115E-005	678,968	,51	,03	,32	,01	,14	,08	,01	,34	,22	,06
	9	7,823E-006	1116,455	,45	,95	,09	,00	,01	,03	,01	,00	,69	,15
	10	5,979E-006	1277,027	,02	,01	,50	,99	,12	,88	,08	,47	,03	,79

a. Variable dependiente: Average_Trip_Miles

>30 >90%

Tabla 5.4-59 Diagnósticos de multicolinealidad: índices de condicionamiento y matriz de proporciones de la varianza, para ATM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Habrá multicolinealidad cuando un índice de condicionamiento identificado en el primer paso por encima del valor del umbral, tiene en cuenta una proporción sustancial de la varianza de dos o más coeficientes. Se puede ver en la tabla 5.4-57 de diagnóstico de colinealidad de SPSS-20 que hay 7 índices de condicionamiento claramente por encima de 30,

correspondientes a las dimensiones de 4 a 10, pero se puede ver en la matriz de descomposición de la varianza (proporciones de la varianza), que ningún índice de condicionamiento tiene dos o mas coeficientes con una proporción de la varianza por encima del 90%. De hecho se han marcado los dos únicos casos que es así y se corresponden a dos coeficientes índices distintos. Por ello no se observa colinealidad y se puede seguir con el proceso de validación y contraste.

g. **Datos anómalos y Medidas de influencia:** el objetivo es detectar datos anómalos y datos influyentes, entendiendo como datos anómalos o atípicos a los individuos cuyo residuos tipificado es superior a 3 (en valor absoluto) y como datos influyentes a aquellos individuos cuya omisión produce cambios notables en los resultados del análisis. En nuestro caso los individuos son los aviones tipo de cada año.

A partir de estos conceptos definidos en el Hair [1], ya explicados y utilizados en el apartado correspondiente del estudio del primer KPI y utilizando la herramienta estadística SSPS-20 como hasta ahora, se calcularán los siguientes:

≠ **Detección de residuos atípicos:** Los valores tipificados de los residuos deben estar entre -3 y 3. Según se puede ver en la tabla 5.4.58, existe algún residuo tipificado fuera de tolerancia no todos están dentro, el intervalo es [-2,290 ; 3,374] la distancia de los extremos es menor de 6, por lo que se va a considerar al intervalo como válido a pesar del sesgo hacia el máximo. Este hecho ya se evidenciaba en el histograma representado en el gráfico 5.4-44.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	709,1814	1124,8105	932,9737	108,86596	51
Residual	-62,74828	92,43472	,00000	24,80739	51
Valor pronosticado tip.	-2,056	1,762	,000	1,000	51
Residuo típ.	-2,290	3,374	,000	,906	51

a. Variable dependiente: Average_Trip_Miles

Tabla 5.4-60 Estadísticos sobre los residuos para detección de atípicos, para ATM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

≠ **Detección de puntos influyentes:**

- El rango de valores para la **distancia de Mahalanobis** no es elevado, varía entre un mínimo equivalente al valor medio menos 0,8482 σ y un máximo calculado como valor medio más 3,2655 σ. Es decir un rango aproximado de ±2 σ con sesgo hacia la derecha. Según se puede ver en la tabla 5.4-59
- Hay valores de la **distancia de Cook** ligeramente superiores al valor máximo calculado como 4 / (n-k-1) = 4 / (51-10-1)= 0,10. Pero muy inferiores a 1 por lo que no es peligrosa su influencia.
- **Medida de influencia:** (k+1)/n = (10+1)/51 =0,215686, valor muy inferior a 1 que corrobora la no influencia peligrosa de ningún valor. En la Tabla 5.4-59 el valor medio es 0,176 y el máximo 0,670.

Estadísticos sobre los residuos[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	709,1814	1124,8105	932,9737	108,86596	51
Valor pronosticado tip.	-2,056	1,762	,000	1,000	51
Error típico de valor pronosticado	7,144	22,744	11,478	3,964	51
Valor pronosticado corregido	709,7302	1150,8014	932,0481	110,68552	51
Residual	-62,74828	92,43472	,00000	24,80739	51
Residuo típ.	-2,290	3,374	,000	,906	51
Residuo estud.	-2,388	3,569	,014	,989	51
Residuo eliminado	-68,20238	103,43868	,92564	30,20425	51
Residuo eliminado estud.	-2,542	4,246	,027	1,056	51
Dist. de Mahalanobis	2,419	33,482	8,824	7,551	51
Distancia de Cook	,000	,168	,023	,045	51
Valor de influencia centrado	,048	,670	,176	,151	51

a. Variable dependiente: Average_Trip_Miles

Tabla 5.4-61 Estadísticos sobre los residuos para puntos influyentes, para ATM.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Una vez realizados todos los contrastes, se puede dar por bueno el modelo de predicción de la variable respuesta o dependiente Average Travel Miles (ATM) en función de las diez variables explicativas o independientes utilizadas. Como además se ha podido comprobar el grado de significación de los diferentes términos, se toma como primera ecuación del modelo global la (27) del nuevo modelo ***ATM*** simplificado, que es:

$$\boldsymbol{ATM} = +69{,}079 \cdot \boldsymbol{Lt} - 1{,}869 \cdot \boldsymbol{Vc}$$

Se puede comprobar, además, en el gráfico 5.4-48 la bondad del ajuste de los valores calculados (Ajuste) frente a los reales (Observado) y los intervalos de confianza (LCS – LCI).

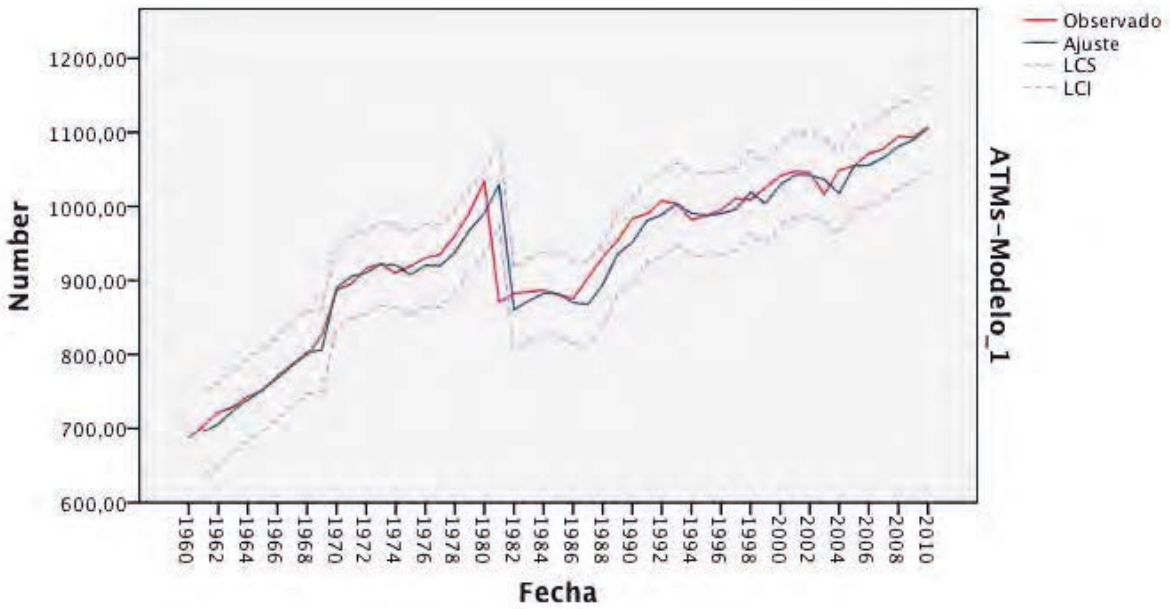


Gráfico 5.4-48 Gráfico del modelo ATM vs. valores observados con límites de confianza
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Con este último se tendrían los 8 KPIs seleccionados para esta tesis. Una vez se han completado los modelos con las 8 ecuaciones, se procederá a evaluar su acierto en algunos de los aviones reales que formaron parte de la flota en los años que forman el periodo de estudio.

5.5. Inferencia de Indicadores Clave de Rendimiento para aeronaves tipo y reales a partir de sus variables caracterizadoras utilizando los modelos de predicción multivariante.

En el apartado anterior, se consiguió inferir unos modelos de predicción multivariantes a partir de las frecuencias observadas de unas variables. Estas variables independientes eran unos parámetros caracterizadores de las aeronaves que previamente se habían seleccionado por su significación a la hora de definir dicha aeronave. Con estos modelos de predicción inferidos, se pueden obtener unas variables dependientes de las anteriores, que son los indicadores clave de rendimiento o KPIs, que han sido seleccionados para esta tesis y que además son los más usuales en las aerolíneas de todo el mundo.

El objetivo de este apartado, es utilizar estos modelos de predicción multivariantes, para calcular los indicadores de rendimiento de aeronaves reales que aunque formaban parte de la flota de las aerolíneas de estudio en el periodo seleccionado, y por lo tanto contribuyeron de alguna manera a la estadística utilizada, no lo hicieron de manera directa, porque las dimensiones o parámetros caracterizadores utilizados fueron los de los aviones tipo anuales, que como se explicó ampliamente, son una media ponderada de la flota real de cada año.

Se espera por ello obtener unos KPIs con valores coherentes para los aviones reales, ya que dichos aviones, no son otra cosa que un caso particular en el modelo general de predicción.

El modelo de predicción inferido y simplificado para términos y variables independientes con significación en cada una de las variables dependientes, obtenido y contrastado en el apartado anterior es el representado por el sistema de ecuaciones (28) expuestas a continuación, primero de manera simbólica y luego tabuladas:

$$Coeficientes\ y\ término\ independiente\ de\ los\ KPIs\ \forall\ \boldsymbol{i} \in [\mathbf{0}, \mathbf{9}]$$

$$\begin{pmatrix} ASM\_ud \\ RPM\_ud \\ PaxLF\_\% \\ CASM \\ RASM \\ PaxYield \\ MGT\_ud \\ ATM \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_i \\ P_i \\ F_i \\ C_i \\ R_i \\ Y_i \\ G_i \\ T_i \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} ASM\_ud \\ RPM\_ud \\ PaxLF\_\% \\ CASM \\ RASM \\ PaxYield \\ MGT\_ud \\ ATM \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_0 \\ P_0 \\ F_0 \\ C_0 \\ R_0 \\ Y_0 \\ G_0 \\ T_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 & S_9 \\ P_1 & P_2 & P_3 & P_4 & P_5 & P_6 & P_7 & P_8 & P_9 \\ F_1 & F_2 & F_3 & F_4 & F_5 & F_6 & F_7 & F_8 & F_9 \\ C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 & C_8 & C_9 \\ R_1 & R_2 & R_3 & R_4 & R_5 & R_6 & R_7 & R_8 & R_9 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 & Y_5 & Y_6 & Y_7 & Y_8 & Y_9 \\ G_1 & G_2 & G_3 & G_4 & G_5 & G_6 & G_7 & G_8 & G_9 \\ T_1 & T_2 & T_3 & T_4 & T_5 & T_6 & T_7 & T_8 & T_9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Lt \\ A \\ Sa \\ N \\ Pu \\ Cr \\ Rg \\ V_c \\ Mtow \end{pmatrix}$$

Si se representan en una tabla con los valores de los coeficientes obtenidos en los modelos de predicción multivariante se tiene:

	Cte	Lt	A	Sa	N	Pu	Cr	Rg	Vc	Mtow
ASMs_Ud	9,709E+05	-1,371E+03	-1,739E+05	6,415E+03	-4,159E+04	5.338,064	10.570,773	-127,323	-569,798	-4.913,490
RPMs_Ud	6,412E+05	3,604E+03	-1,781E+05	7,107E+03	-1,669E+04	5.869,446	4.211,100	-97,727	-559,361	-8.041,940
PaxLF_%	-21,322	4,876	5,790	1,578	7,810	1,301	-4,902	-0,010	-0,227	-3,186
CASM	-12,443	1,735	22,285	-0,298	1,162	0,014	-0,624	-0,003	-0,107	0,094
RASM	-17,178	1,939	21,791	-0,196	0,752	0,063	-0,428	-0,003	-0,111	-0,086
PaxYield	-10,639	2,309	38,753	-0,569	0,250	-0,111	-0,429	-0,005	-0,156	0,382
GUY	2,493E+07	-7,884E+04	-1,455E+07	3,136E+05	-1,040E+06	1,642E+05	4,467E+05	-2.144,092	6.909,716	-2,463E+05
ATM	-451,113	69,079	-75,127	5,487	-43,636	6,116	24,235	0,014	-1,869	-13,382

Tabla 5.5-1 Coeficientes de las variables del modelo de predicción multivariante.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

En primer lugar y para probar las ecuaciones que componen los modelos de predicción multivariante, se ha considerado interesante, calcular los valores que asignan los modelos a los aviones tipo anuales y compararlos con los valores reales de dichos modelos para evaluar error cometido al utilizar el mismo.

En la Tabla 5.5-2 se pueden ver los valores de los KPIs calculados con los modelos de predicción y las dimensiones de los aviones tipo y en la tabla 5.5-3 se pueden ver los valores reales sacados de la información anual de ATA en comparación con los valores calculados y la diferencia en valor real y porcentual, referida al valor real.

año	Lt (m)	A (m)	SupAl(m2)	NºM	PotUd(kN)	CREW	Rg(km)	Vcru	MTOW (t)	ASMs_Lut	RPMs_Ut	Pax LF(%)	CASM_t	RASM_t	PaxYield	GUY	ATMs
1960	29,31	2,88	127,49	3	13,49	4	5641	480	43,25	23.270	14.975	60,99	1,869	5,085	7,11	1.897.640,81	695,71
1961	29,82	2,88	130,14	3	14,92	4	5685	490	45,72	21.538	12.265	59,01	1,144	4,308	6,01	2.156.769,45	700,32
1962	30,16	2,89	130,92	3	15,88	4	5665	499	47,17	20.609	8.594	56,69	0,975	4,040	5,91	2.154.214,62	698,00
1963	30,28	2,89	131,48	3	16,51	4	5598	502	47,70	33.593	18.838	57,20	0,853	3,932	5,71	2.552.977,70	701,08
1964	31,73	2,96	134,93	3	21,95	4	5472	540	51,60	45.525	27.237	57,37	0,627	3,730	5,37	2.950.813,08	722,04
1965	33,13	3,04	137,99	3	26,48	4	5189	582	55,68	79.083	50.957	58,36	0,770	3,861	5,73	3.645.912,79	733,97
1966	35,67	3,17	143,64	3	38,21	3	5135	650	62,55	73.767	44.960	57,02	0,288	3,352	4,95	3.680.357,98	767,36
1967	38,66	3,35	148,45	3	50,49	3	4883	733	70,31	81.218	45.700	55,87	0,803	3,721	5,91	3.535.702,83	794,37
1968	41,93	3,55	154,02	3	68,12	3	4689	833	80,54	92.027	46.898	51,96	0,453	3,126	5,55	3.589.945,45	815,99
1969	42,73	3,62	156,26	3	73,37	3	4768	856	83,60	82.324	38.995	51,36	0,347	2,973	5,28	3.324.223,05	825,32
1970	44,68	3,79	177,75	3	84,59	3	5162	870	100,41	103.236	50.790	50,51	0,395	2,958	5,41	4.233.154,53	884,17
1971	45,08	3,86	183,77	3	88,56	3	5268	871	105,18	113.849	57.572	51,01	0,815	3,377	6,11	4.405.752,96	900,21
1972	45,35	3,92	188,70	3	92,04	3	5349	872	108,53	125.945	67.412	52,96	1,247	3,913	6,78	4.595.864,61	918,79
1973	45,53	3,96	190,51	3	94,14	3	5365	875	109,86	131.436	71.963	54,28	1,656	4,381	7,42	4.576.954,94	928,22
1974	45,48	3,98	189,97	3	95,14	3	5341	876	109,52	135.067	75.161	55,33	2,023	4,791	7,99	4.474.671,98	929,48
1975	45,42	3,99	189,24	3	95,02	3	5310	877	108,74	137.541	77.975	56,33	2,176	4,996	8,21	4.467.012,99	930,82
1976	45,53	4,00	189,69	3	95,70	3	5314	879	109,24	137.729	77.990	56,43	2,265	5,080	8,34	4.440.307,86	932,90
1977	45,25	3,99	186,13	3	95,47	3	5235	879	106,90	137.680	78.191	57,20	2,775	5,597	9,16	4.136.145,77	925,35
1978	45,46	4,01	187,04	3	96,43	3	5249	883	107,68	137.198	78.007	57,54	2,867	5,702	9,27	4.113.739,12	931,22
1979	45,65	4,02	189,63	3	97,35	3	5342	883	109,45	135.532	77.344	57,42	2,517	5,369	8,64	4.288.894,50	940,10
1980	45,60	4,04	189,46	3	99,11	3	5331	882	109,70	140.853	81.268	58,50	3,154	6,017	9,65	4.129.865,68	942,34
1981	45,34	4,04	187,91	3	99,73	3	5314	879	109,07	143.224	82.536	58,36	3,382	6,200	10,02	4.018.787,27	934,89
1982	44,90	4,03	184,70	3	100,47	3	5269	875	107,41	146.809	84.905	58,56	3,794	6,565	10,68	3.807.432,51	922,99
1983	44,70	4,01	181,30	3	99,81	3	5190	875	105,18	147.241	85.822	59,15	4,090	6,860	11,11	3.656.132,71	917,87
1984	44,62	4,02	180,76	3	100,88	3	5191	874	105,06	149.780	88.073	59,76	4,349	7,127	11,48	3.589.408,60	918,79
1985	44,41	4,02	179,22	3	102,05	3	5202	872	104,22	152.121	91.257	60,69	4,453	7,258	11,53	3.569.673,69	919,51
1986	44,04	3,99	175,66	3	102,32	3	5169	869	102,04	152.674	92.852	61,28	4,566	7,370	11,61	3.455.608,43	912,96
1987	43,66	3,98	173,29	3	102,81	3	5194	866	100,91	148.453	89.154	60,34	4,452	7,189	11,42	3.258.242,69	899,69
1988	43,31	3,97	170,21	3	103,26	3	5149	863	99,22	150.988	91.160	60,61	4,752	7,458	11,87	3.101.800,47	890,95
1989	44,22	3,96	171,73	3	105,89	3	5260	862	101,08	152.212	96.711	64,10	5,743	8,593	12,91	3.326.898,00	957,59
1990	44,18	3,95	170,93	3	107,56	3	5290	859	101,07	155.442	100.370	64,91	5,947	8,807	13,09	3.368.256,34	965,91
1991	44,11	3,95	170,05	2	109,93	2	5353	857	101,07	157.527	103.772	66,03	6,156	9,050	13,21	3.377.762,88	977,65
1992	44,05	3,95	169,49	2	112,52	2	5420	855	101,17	161.239	109.170	67,61	6,261	9,213	13,13	3.480.738,76	991,12
1993	43,87	3,94	168,28	2	114,17	2	5465	852	100,99	161.764	110.196	67,70	6,297	9,221	13,07	3.450.564,67	991,31
1994	42,97	3,93	163,90	2	113,27	2	5386	849	97,93	160.462	107.626	66,10	5,810	8,636	12,48	3.180.499,40	945,68
1995	43,57	3,93	165,85	2	115,83	2	5495	848	99,96	162.635	112.151	68,07	6,285	9,195	12,89	3.414.281,59	989,27
1996	43,69	3,93	166,96	2	116,45	2	5538	849	100,64	163.162	113.819	68,57	6,054	9,004	12,42	3.584.388,20	997,37
1997	43,68	3,93	167,13	2	117,13	2	5563	848	100,98	163.648	114.379	68,54	6,020	8,960	12,32	3.617.494,18	999,00
1998	43,85	3,96	169,95	2	120,43	2	5666	848	103,28	169.579	120.264	69,91	6,191	9,192	12,45	3.767.540,57	1.015,79
1999	43,61	3,96	168,36	2	123,24	2	5766	846	102,94	166.914	120.113	70,48	6,127	9,130	12,11	3.673.323,68	1.018,51
2000	43,60	3,98	169,69	2	126,45	2	5887	844	104,57	166.123	120.026	70,75	6,208	9,204	12,12	3.606.850,59	1.025,32
2001	43,41	4,01	170,29	2	132,16	2	6045	841	106,03	171.342	126.647	72,70	6,452	9,496	12,20	3.595.759,83	1.037,49
2002	43,16	4,01	168,46	2	134,07	2	6099	839	105,44	169.064	125.676	72,91	6,571	9,594	12,26	3.419.970,27	1.035,74
2003	42,91	3,99	165,35	2	135,19	2	6051	838	102,93	178.693	138.136	76,57	6,689	9,876	12,12	3.634.707,85	1.045,57
2004	42,87	4,01	165,76	2	136,21	2	6082	838	103,27	179.497	139.206	77,04	6,740	9,948	12,17	3.611.826,78	1.047,16
2005	43,11	4,02	167,65	2	138,04	2	6140	838	104,67	183.059	143.588	78,50	6,914	10,188	12,29	3.751.394,22	1.064,58
2006	43,17	4,03	167,97	2	139,03	2	6168	838	104,98	184.242	145.643	79,39	7,010	10,320	12,34	3.789.076,30	1.072,36
2007	42,82	4,04	166,25	2	139,68	2	6201	837	104,19	177.916	139.651	78,37	7,044	10,291	12,45	3.442.655,55	1.057,50
2008	42,92	4,05	167,35	2	141,75	2	6286	837	105,00	178.447	142.360	79,72	6,952	10,279	12,11	3.547.901,31	1.070,81
2009	42,75	4,05	165,70	2	143,39	2	6305	836	104,37	179.740	144.356	80,33	7,112	10,446	12,25	3.477.447,34	1.072,55
2010	43,84	4,16	169,83	2	149,30	2	6539	857	107,38	159.597	133.500	83,98	7,707	11,286	12,80	2.922.685,75	1.121,59

Tabla 5.5-2 Valores KPIs calculados con los modelos de predicción y dimensiones de aviones tipo.
Fuente: Calculado con SPSS-20 para esta tesis.

Los valores calculados con los modelos de predicción son totalmente razonables en orden de magnitud y reflejan de manera adecuada el progreso de cada uno de los indicadores en relación con la evolución de las aeronaves tipo.

Sin embargo, para valorar la fiabilidad de los modelos de predicción es muy importante evaluar la desviación obtenida a partir de los modelos de predicción de los aviones tipo y los valores reales de los KPIs suministrados por las compañías de la muestra en los años correspondientes. Por ello en la Tabla 5.5-3 se han calculado la desviación absoluta y el porcentaje de error tomando como valor de referencia el valor real.

año	ASMs_Ud	ASM/ud	ε(Abs)	ε(%)	RPMs_Ud	RPM/ud	ε(Abs)	ε(%)	Pax LF(%)	Pax LF(%)	ε(Abs)	ε(%)	CASM_C	CASM_C	ε(Abs)	ε(%)	RASM_C	RASM_C	ε(Abs)	ε(%)	PaxYield	PaxYield	ε(Abs)	ε(%)	GUY	GUY	ε(Abs)	ε(%)	ATMs	ATMs	ε(Abs)	ε(%)
1960	23.270	33.931	10.661	31	14.975	20.380	5.405	27	60,99	60,06	-1	-2	1,869	3,588	2	48	5,085	3,688	-1	-38	7,11	6,14	-1	-16	1.897.640,81	2.171.552,660	273.912	13	695,71	687,76	-8	-1
1961	21.538	36.757	15.219	41	12.265	20.615	8.350	41	59,01	56,09	-3	-5	1,144	3,476	2	67	4,308	3,500	-1	-23	6,01	6,24	0	4	2.156.769,45	2.421.959,096	265.190	11	700,32	703,28	3	0
1962	20.609	43.325	22.716	52	8.594	23.173	14.578	63	56,69	53,49	-3	-6	0,975	3,188	2	69	4,040	3,375	-1	-20	5,91	6,31	0	6	2.154.214,62	2.760.905,577	606.691	22	698,00	722,16	24	3
1963	33.593	49.775	16.182	33	18.838	26.650	7.812	29	57,20	53,54	-4	-7	0,853	3,018	2	72	3,932	3,261	-1	-21	5,71	6,09	0	6	2.552.977,70	3.035.320,088	482.342	16	701,08	728,79	28	4
1964	45.525	54.820	9.296	17	27.237	30.391	3.154	10	57,37	55,44	-2	-3	0,627	2,934	2	79	3,730	3,299	0	-13	5,37	5,95	1	10	2.950.813,08	3.255.561,584	304.748	9	722,04	743,40	21	3
1965	79.083	63.074	-16.009	-25	50.957	35.081	-15.876	-45	58,36	55,62	-3	-5	0,770	2,822	2	73	3,861	3,265	-1	-18	5,73	5,87	0	2	3.645.912,79	3.466.666,667	-179.246	-5	733,97	751,52	18	2
1966	73.767	65.143	-8.625	-13	44.960	38.032	-6.929	-18	57,02	58,38	1	2	0,288	2,863	3	90	3,352	3,310	0	-1	4,95	5,67	1	13	3.680.357,98	3.498.250,875	-182.107	-5	767,36	771,07	4	0
1967	81.218	75.599	-5.618	-7	45.700	43.115	-2.585	-6	55,87	57,03	1	2	0,803	2,808	2	71	3,721	3,131	-1	-19	5,91	5,49	0	-8	3.535.702,83	3.430.924,062	-104.779	-3	794,37	786,24	-8	-1
1968	92.027	79.159	-12.867	-16	46.898	42.048	-4.850	-12	51,96	53,12	1	2	0,453	2,711	2	83	3,126	2,900	0	-8	5,55	5,46	0	-2	3.589.945,45	3.112.840,467	-477.105	-15	815,99	799,18	-17	-2
1969	82.324	97.576	15.252	16	38.995	49.255	10.261	21	51,36	50,48	-1	-2	0,347	2,740	2	87	2,973	2,867	0	-4	5,28	5,68	0	7	3.324.223,05	3.870.162,297	545.939	14	825,32	825,52	0	0
1970	103.236	101.785	-1.451	-1	50.790	50.997	207	0	50,51	50,10	0	-1	0,395	2,887	2	86	2,958	2,901	0	-2	5,41	5,79	0	7	4.233.154,53	3.923.998,348	-309.156	-8	884,17	887,42	3	0
1971	113.849	109.823	-4.026	-4	57.572	53.463	-4.108	-8	51,01	48,68	-2	-5	0,815	2,849	2	71	3,377	2,945	0	-15	6,11	6,05	0	-1	4.405.752,96	4.210.526,316	-195.227	-5	900,21	895,30	-5	-1
1972	125.945	113.939	-12.006	-11	67.412	60.698	-6.714	-11	52,96	53,27	0	1	1,247	3,069	2	59	3,913	3,239	-1	-21	6,78	6,08	-1	-11	4.595.864,61	4.473.796,336	-122.068	-3	918,79	916,21	-3	0
1973	131.436	121.973	-9.463	-8	71.963	63.871	-8.091	-13	54,28	52,37	-2	-4	1,656	3,163	2	48	4,381	3,320	-1	-32	7,42	6,34	-1	-17	4.576.954,94	4.526.226,734	-50.728	-1	928,22	922,43	-6	-1
1974	135.067	122.705	-12.362	-10	75.161	67.503	-7.658	-11	55,33	55,01	0	-1	2,023	3,812	2	47	4,791	4,010	-1	-19	7,99	7,29	-1	-10	4.474.671,98	4.744.852,283	270.180	6	929,48	909,96	-20	-2
1975	137.541	123.708	-13.833	-11	77.975	66.605	-11.370	-17	56,33	53,84	-2	-5	2,176	4,052	2	46	4,996	4,087	-1	-22	8,21	7,59	-1	-8	4.467.012,99	4.646.017,699	179.005	4	930,82	919,29	-12	-1
1976	137.729	131.466	-6.263	-5	77.990	73.071	-4.918	-7	56,43	55,58	-1	-2	2,265	4,248	2	47	5,080	4,430	-1	-15	8,34	7,97	0	-5	4.440.307,86	4.601.769,912	161.462	4	932,90	930,43	-2	0
1977	137.680	142.639	4.960	3	78.191	79.913	1.722	2	57,20	56,02	-1	-2	2,775	4,502	2	38	5,597	4,717	-1	-19	9,16	8,42	-1	-9	4.136.145,77	4.627.133,872	490.988	11	925,35	934,89	10	1
1978	137.198	149.090	11.891	8	78.007	92.026	14.019	15	57,54	61,73	4	7	2,867	4,812	2	40	5,702	5,117	-1	-11	9,27	8,29	-1	-12	4.113.739,12	4.502.004,181	388.265	9	931,22	960,45	29	3
1979	135.532	145.180	9.648	7	77.344	91.919	14.575	16	57,42	63,31	6	9	2,517	5,471	3	54	5,369	5,508	0	3	8,64	8,70	0	1	4.288.894,50	4.207.049,721	-81.845	-2	940,10	991,65	52	5
1980	140.853	147.379	6.526	4	81.268	87.468	6.200	7	58,50	59,35	1	1	3,154	6,595	3	52	6,017	6,552	1	8	9,65	11,04	1	13	4.129.865,68	4.059.525,293	-70.340	-2	942,34	1034,37	92	9
1981	143.224	151.317	8.093	5	82.536	88.635	6.099	7	58,36	58,58	0	0	3,382	7,284	4	54	6,200	7,234	1	14	10,02	12,35	2	19	4.018.787,27	3.770.573,015	-248.214	-7	934,89	870,31	-65	-7
1982	146.809	155.519	8.710	6	84.905	91.747	6.842	7	58,56	58,99	0	1	3,794	7,077	3	46	6,565	6,938	0	5	10,68	11,76	1	9	3.807.432,51	3.674.981,664	-132.451	-4	922,99	882,84	-40	-5
1983	147.241	130.013	-17.228	-13	85.822	78.877	-6.945	-9	59,15	60,67	2	2	4,090	6,981	3	41	6,860	7,038	0	3	11,11	11,60	0	4	3.656.132,71	2.986.527,517	-669.605	-22	917,87	884,48	-33	-4
1984	149.780	121.977	-27.803	-23	88.073	72.249	-15.824	-22	59,76	59,23	-1	-1	4,349	6,815	2	36	7,127	7,167	0	1	11,48	12,10	1	5	3.589.408,60	2.826.854,585	-762.554	-27	918,79	886,95	-32	-4
1985	152.121	122.630	-29.491	-24	91.257	75.308	-15.949	-21	60,69	61,41	1	1	4,453	6,965	3	36	7,258	7,185	0	-1	11,53	11,70	0	1	3.569.673,69	2.821.342,292	-748.331	-27	919,51	880,59	-39	-4
1986	152.674	137.212	-15.462	-11	92.852	82.798	-10.055	-12	61,28	60,34	-1	-2	4,566	6,346	2	28	7,370	6,517	-1	-13	11,61	10,80	-1	-7	3.455.608,43	3.090.654,389	-364.954	-12	912,96	874,92	-38	-4
1987	148.453	150.167	1.714	1	89.154	93.628	4.474	5	60,34	62,35	2	3	4,452	6,626	2	33	7,189	6,921	0	-4	11,42	11,10	0	-3	3.258.242,69	3.351.957,223	93.715	3	899,69	903,49	4	0
1988	150.988	134.983	-16.006	-12	91.160	84.424	-6.736	-8	60,61	62,54	2	3	4,752	7,042	2	33	7,458	7,443	0	0	11,87	11,90	0	0	3.101.800,47	3.027.668,220	-74.132	-2	890,95	931,12	40	4
1989	152.212	121.086	-31.126	-26	96.711	76.560	-20.152	-26	64,10	63,23	-1	-1	5,743	7,632	2	25	8,593	7,840	-1	-10	12,91	12,40	-1	-4	3.326.898,00	2.735.746,272	-591.152	-22	957,59	953,76	-4	0
1990	155.442	157.501	2.059	1	100.370	107.117	6.747	6	64,91	68,01	3	5	5,947	8,896	3	33	8,807	8,678	0	-1	13,09	12,76	0	-3	3.368.256,34	3.777.707,166	409.451	11	965,91	983,60	18	2
1991	157.527	175.929	18.401	10	103.772	110.186	6.414	6	66,03	62,63	-3	-5	6,156	8,157	2	25	9,050	7,979	-1	-13	13,21	12,74	0	-4	3.377.762,88	3.751.936,692	374.174	10	977,65	990,24	13	1
1992	161.239	177.834	16.595	9	109.170	113.029	3.859	3	67,61	63,56	-4	-6	6,261	8,193	2	24	9,213	7,945	-1	-16	13,13	12,50	-1	-5	3.480.738,76	3.703.538,776	222.800	6	991,12	1007,04	16	2
1993	161.764	178.433	16.669	9	110.196	113.226	3.030	3	67,70	63,46	-4	-7	6,297	8,096	2	22	9,221	8,313	-1	-11	13,07	13,10	0	0	3.450.564,67	3.720.318,597	269.754	7	991,31	1003,88	13	1
1994	160.462	174.880	14.418	8	107.626	115.804	8.178	7	66,10	66,22	0	0	5,810	8,061	2	28	8,636	8,277	0	-4	12,48	12,50	0	0	3.180.499,40	3.751.607,088	571.108	15	945,68	982,10	36	4
1995	162.635	175.109	12.474	7	112.151	117.304	5.154	4	68,07	66,99	-1	-2	6,285	8,080	2	22	9,195	8,642	-1	-6	12,89	12,90	0	0	3.414.281,59	3.758.545,215	344.264	9	989,27	987,01	-2	0
1996	163.162	173.676	10.514	6	113.819	120.351	6.533	5	68,57	69,30	1	1	6,054	8,460	2	28	9,004	9,009	0	0	12,42	13,00	1	4	3.584.388,20	3.713.149,781	128.762	3	997,37	995,20	-2	0
1997	163.648	165.730	2.083	1	114.379	116.591	2.212	2	68,54	70,35	2	3	6,020	8,489	2	29	8,960	9,216	0	3	12,32	13,10	1	6	3.617.494,18	3.561.802,079	-55.692	-2	999,00	1010,81	12	1
1998	169.579	164.907	-4.672	-3	120.264	116.856	-3.408	-3	69,91	70,86	1	1	6,191	8,520	2	27	9,192	9,283	0	1	12,45	13,10	1	5	3.767.540,57	3.678.551,217	-88.989	-2	1.015,79	1008,56	-7	-1
1999	166.914	168.672	1.758	1	120.113	119.752	-361	0	70,48	71,00	1	1	6,127	8,501	2	28	9,130	9,159	0	0	12,11	12,90	1	6	3.673.323,68	3.684.297,521	10.974	0	1.018,51	1025,23	7	1
2000	166.123	169.382	3.259	2	120.026	122.632	2.607	2	70,75	72,40	2	2	6,208	9,261	3	33	9,204	9,788	1	6	12,12	13,52	1	10	3.606.850,59	3.714.184,523	107.334	3	1.025,32	1040,58	15	1
2001	171.342	178.498	7.156	4	126.647	125.014	-1.632	-1	72,70	70,04	-3	-4	6,452	9,478	3	32	9,496	8,699	-1	-9	12,20	12,42	0	2	3.595.759,83	3.859.581,815	263.822	7	1.037,49	1047,58	10	1
2002	169.064	173.855	4.791	3	125.676	124.555	-1.121	-1	72,91	71,64	-1	-2	6,571	8,867	2	26	9,594	8,210	-1	-17	12,26	11,46	-1	-7	3.419.970,27	3.535.345,667	115.375	3	1.035,74	1045,59	10	1
2003	178.693	199.603	20.910	10	138.136	146.697	8.561	6	76,57	73,49	-3	-4	6,689	8,811	2	24	9,876	8,658	-1	-14	12,12	11,78	0	-3	3.634.707,85	3.976.328,718	341.621	9	1.045,57	1016,41	-29	-3
2004	179.497	214.994	35.497	17	139.206	162.398	23.191	14	77,04	75,54	-2	-2	6,740	8,936	2	25	9,948	8,838	-1	-13	12,17	11,70	0	-4	3.611.826,78	4.389.172,398	777.346	18	1.047,16	1048,91	2	0
2005	183.059	231.658	48.600	21	143.588	179.867	36.279	20	78,50	77,64	-1	-1	6,914	9,290	2	26	10,188	9,317	-1	-9	12,29	12,00	0	-2	3.751.394,22	4.729.854,537	978.460	21	1.064,58	1054,70	-10	-1
2006	184.242	231.941	47.699	21	145.643	183.780	38.137	21	79,39	79,24	0	0	7,010	9,591	3	27	10,320	10,055	0	-3	12,34	12,69	0	3	3.789.076,30	4.604.286,702	815.210	18	1.072,36	1071,08	-1	0
2007	177.916	152.338	-25.578	-17	139.651	121.773	-17.878	-15	78,37	79,94	2	2	7,044	9,768	3	28	10,291	10,320	0	0	12,45	12,91	0	4	3.442.655,55	2.956.962,397	-485.693	-16	1.057,50	1077,78	20	2
2008	178.447	161.288	-17.159	-11	142.360	128.291	-14.069	-11	79,72	79,54	0	0	6,952	11,136	4	38	10,279	10,937	1	6	12,11	13,75	2	12	3.547.901,31	3.063.715,415	-484.186	-16	1.070,81	1094,47	24	2
2009	179.740	152.469	-27.272	-18	144.356	122.568	-21.787	-18	80,33	80,39	0	0	7,112	9,374	2	24	10,446	9,542	-1	-9	12,25	11,87	0	-3	3.477.447,34	2.821.121,376	-656.326	-23	1.072,55	1093,11	21	2
2010	159.597	145.267	-14.330	-10	133.500	119.195	-14.305	-12	83,98	82,10	-2	-2	7,707	10,127	2	24	11,286	10,776	-1	-5	12,80	13,13	0	3	2.922.685,75	2.748.319,642	-174.366	-6	1.121,59	1108,00	-14	-1

Tabla 5.5-3 Contraste de los KPIs reales y los calculados con modelos para aviones tipo. (1960-2010).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de ATA (Air Transport Association of America) y SPSS-20 para esta tesis. I[13]

Es bastante alentador y corrobora lo adecuado de los modelos de predicción, observar que:

- ≠ Prácticamente para el 80% de los valores calculados la desviación es inferior al 20%, ya sea por encima o por debajo.
- ≠ Que la media de la desviación no supera el 13% en 7 de los 8 indicadores calculados y no supera el 10% en la mitad de ellos.
- ≠ Hay 3 indicadores, que no tienen un solo valor con una desviación por encima del 20% y sus medias están entre el 2% y el 6%.
- ≠ Y que si no se tiene en cuenta la influencia del indicador CASM, esta estadística mejoraría hasta superar el 90%, el porcentaje de los valores calculados con los modelos de predicción multivariante en la tabla 5.5-2 con un error inferior al 20% respecto de los valores reales suministrados por las aerolíneas.

	Media ε(%)	ε(%)>20%
ASM/ud	12,45	19,61%
RPM/ud	12,89	21,57%
Pax LF(%)	2,70	0,00%
CASM_¢	43,78	100,00%
RASM_¢	10,37	11,76%
PaxYield	5,97	0,00%
GUY	9,74	13,73%
ATMs	1,99	0,00%

Ahora se van a calcular con los modelos de predicción multivariante los indicadores de las aeronaves reales más presentes en las aerolíneas y en los años de creación del modelo. El objetivo no es otro que corroborar que los resultado son totalmente razonables en orden de magnitud y reflejan de manera aproximada los valores esperables de los KPIs para estas aeronaves, protagonistas en cada caso de algunos de los años donde formaron parte de la flota de las aerolíneas seleccionadas en la muestra y que pueden servir de referencia.

Las aeronaves seleccionadas en la Tabla 5.5-4 son algunas de las más presentes en las compañías de la muestra y en los años de estudio, formando parte también, algunas de ellas, de las aeronaves más vendidas para el transporte de pasajeros en toda su historia.

	ASMs_Ud	RPMs_Ud	PaxLF_%	CASM	RASM	PaxYield	GUY	ATM
Cte	970.906,84	641.194,89	-21,27	-12,44	-17,18	-10,64	24.929.561	-451,11
Lt	-1.371,07	3.603,85	4,87	1,74	1,94	2,31	-78.839	69,08
A	-173.916,46	-178.074,67	5,79	22,29	21,79	38,75	-14.552.526	-75,13
Sa	6.415,37	7.106,51	1,58	-0,30	-0,20	-0,57	313.644	5,49
N	-41.590,80	-16.691,45	7,82	1,16	0,75	0,25	-1.040.245	-43,64
Pu	5.338,06	5.869,45	1,30	0,01	0,06	-0,11	164.172	6,12
Cr	10.570,77	4.211,10	-4,91	-0,62	-0,43	-0,43	446.715	24,24
Rg	-127,32	-97,73	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-2.144	0,01
Vc	-569,80	-559,36	-0,23	-0,11	-0,11	-0,16	6.910	-1,87
Mtow	-4.913,49	-8.041,94	-3,19	0,09	-0,09	0,38	-246.347	-13,38

avión	Lt (m)	A (m)	SupAl(m2)	NºM	PotUd(kN)	PaxMax*	CREW	Rg(km)	Vcru	MTOW (t)	ASMs_Ud	RPMs_Ud	Pax LF(%)	CASM_¢	RASM_¢	PaxYield	GUY	ATMs
A320(1)	37,57	3,95	122,00	2	115,65	180	3	5950	828	65,00	115.419	64.273	75,02	6,146	9,991	12,05	2.989.724	875,53
B747(2)	70,50	6,50	535,31	4	251,79	532	4	12509	903	374,47	450.814	230.857	63,59	1,933	3,435	10,42	10.782.539	1.806,42
B727	45,20	3,76	157,90	3	72,37	175	3	4548	915	81,12	62.574	35.662	62,22	1,465	4,844	6,60	2.860.094	908,33
DC9(3)	36,36	3,35	92,17	2	68,27	115	2	2944	814	48,80	132.310	62.334	67,59	8,475	9,781	19,63	2.403.137	559,67
B737(4)	35,59	3,76	117,02	2	106,53	167	2	5208	811	69,49	59.041	43.904	67,68	4,952	6,597	12,51	2.613.948	607,47
MD80	44,67	3,35	112,30	2	87,50	170	2	3920	811	68,13	156.626	107.727	73,12	16,416	18,946	28,27	1.473.823	1.122,85

* Variable excluída en todos los casos por el software SPSS 20 por colinealidad.

(1) Eliminada la influencia de las variables no significativas Longitud total (Lt) y Número de motores (N) de la ecuación de Galones por aeronave y año (GUY).
Eliminada la influencia de la variable no significativa Número de motores (N) de las ecuaciones de ASMs y RPMs.

(2) Eliminada la influencia de las variables no significativas Tripulación (Cr) y Velocidad de crucero (Vc) de la ecuación de Galones por aeronave y año (GUY).
Eliminada la influencia no significativa del Término independiente (Cte) y la variable no significativa Tripulación (Cr) de la ecuación del Factor de ocupación Pax_LF(%).

(3) Eliminadas las influencias no significativas del Término independiente (Cte) de la ecuación del Factor de ocupación Pax_LF(%) y de la variable Longitud total (Lt) de la ecuación de Galones por aeronave y año (GUY).
Eliminada la influencia de la variable no significativa Tripulación (Cr) de las ecuaciones de ASMs y RPMs.

(4) Eliminada la influencia de la variable no significativa Tripulación (Cr) de la ecuación de RPMS_Ud, la influencia no significativa del Término independiente (Cte) de la ecuación del Factor de ocupación Pax_LF(%).
Eliminada la influencia de las variables no significativas Longitud total (Lt) y Número de motores (N) de la ecuación de Galones por aeronave y año (GUY).

Tabla 5.5-4 Cálculo de los KPIs para aeronaves reales con los modelos de previsión multivariante incluidos.
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS-20 y datos de Jane's All the World's Aircraft Aerospace Dictionary [10].

En la Tabla 5.5-4 se puede ver lo siguiente:

- ≠ En su parte superior derecha los términos de cada una de las ecuaciones que forman parte de los modelos multivariantes hallados en esta tesis para poder calcular los indicadores KPIs de las aerolíneas a partir de las variables caracterizadoras de las aeronaves tal y como se ha explicado a lo largo de esta tesis. Además se indican en azul y resaltados los términos de las ecuaciones que en el estudio estadístico multivariante resultaron significativos.
- ≠ A continuación aparecen las aeronaves que se utilizan para el contraste, con los valores de sus variables caracterizadoras y el resultado calculado de los KPIs con los modelos multivariantes inferidos.
- ≠ En la parte inferior se reseñan las excepciones adoptadas para que los valores calculados alcancen valores razonables dentro del orden de magnitud esperado para las aeronaves de contraste utilizadas.

Se puede colegir que los modelos son perfectamente válidos para la predicción estimativa de los indicadores de rendimiento a partir de las dimensiones y resto de variables caracterizadoras seleccionadas, si bien el comportamiento del conjunto de la flota es más preciso y no necesita de excepciones en los modelos.

Si para terminar se comparan los aviones reales seleccionados con los aviones tipo anual más parecidos, salvando las diferencias, el que para años muy antiguos haría falta una actualización de las variables financieras y que no son iguales, se podría verificar en orden de magnitud la validez del modelo. Tabla 5.5-5.

Tipo vs. Real	L (m)	A (m)	SupAl(m2)	NºM	Peso(t)(kN)	PaxMax*	CREW	Rg(km)	Vcru	MTOW (t)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
1966	35,67	3,17	143,84	3	36,21	117	3	5135	660	62,55	73.767	44.960	57,02	0,288	3,352	4,95	3.680.358	767,36
DC9	36,36	3,35	92,17	2	68,27	115	2	2944	814	48,80	153.451	70.756	67,59	8,475	9,781	19,63	2.403.137	559,67
1968	41,93	3,55	154,02	3	68,12	158	3	4689	833	80,54	92.027	46.898	51,96	0,453	3,126	5,55	3.589.945	815,99
A320	37,57	3,85	122,00	2	115,65	180	3	5950	828	65,00	115.419	64.273	75,02	6,146	9,991	12,05	2.989.724	875,53
1969	42,73	3,62	156,26	3	73,37	165	3	4768	856	83,60	82.324	38.995	51,36	0,347	2,973	5,28	3.324.223	825,32
B737	35,59	3,76	117,02	2	106,53	167	2	5208	811	69,49	59.041	43.904	67,68	4,952	6,597	12,51	2.613.948	607,47
1970	44,68	3,79	177,75	3	84,59	187	3	5162	870	100,41	103.236	50.790	50,51	0,395	2,958	5,41	4.233.155	884,17
MD80	44,67	3,35	112,30	2	87,50	170	2	3920	811	68,13	156.626	107.727	73,12	16,416	18,946	28,27	1.473.823	1.122,85
1971	45,08	3,86	183,77	3	88,56	184	3	5268	871	105,18	113.849	57.572	51,01	0,815	3,377	6,11	4.405.753	900,21
B727	46,20	3,76	157,90	3	72,37	175	3	4548	915	81,12	62.574	35.662	62,22	1,465	4,844	6,60	2.860.094	908,33

Tabla 5.5-5 Comparación de los KPIs de aeronaves tipo anual con aeronaves reales similares.
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS-20 y datos de Jane's All the World's Aircraft Aerospace Dictionary [10].

Se puede observar que claramente se corresponden, siendo imputables las diferencias a las variaciones dimensionales y a la época del avión tipo.

Hasta aquí llegaría el tema 5, a lo largo del cual, se han conseguido los objetivos que se enunciaron al comienzo del mismo, es decir:

1. Se ha seleccionado y justificado el modelo de estudio.
2. Se ha presentado y utilizado el histórico de indicadores de la muestra.
3. Se ha expuesto la necesidad y el método de cálculo de los aviones tipo, además de justificar la validez de los mismos.
4. Se ha creado una tabla de variables caracterizadoras vinculadas con aviones tipo anuales representantes del conjunto de la flota de ese año.
5. Se han vinculado los aviones tipo y sus variables caracterizadoras con los KPIs anuales de las aerolíneas de la muestra.
6. Se ha hecho el análisis correlacional multivariante entre los aviones tipo anuales a través de sus características con los indicadores de rendimiento anuales (KPIs).
7. Como resultado del análisis se han obtenidos unas ecuaciones para cada KPI con los parámetros caracterizadores como variables independientes, con conforman un sistemas de ecuaciones que en conjunto son unos modelos de previsión multivariante.
8. Se ha corroborado la validez de los modelos de previsión multivariante calculando y contrastando los valores de los KPIs calculados con los reales para todos los aviones tipo anuales. Se ha cuantificado la desviación y el porcentaje de error.
9. Se han calculado los KPIs de los aviones reales más presentes a lo largo de las estadística de la muestra, corroborando la coherencia y validez de los resultados.
10. Se han buscado aviones tipo anuales de similares características a los reales y también se ha evaluado su razonable proximidad.

Una vez llegada la tesis a este punto, únicamente queda validar los modelos de predicción multivariante para un año o dos posteriores al último año utilizado en los datos estadísticos y por verificar su utilidad futura, se cargarán los valores de una o dos aeronaves que aún no estén en servicio para prever su potencial rendimiento operativo.

Capítulo 6

CORROBORACIÓN DE LOS MODELOS DE PREDICCIÓN MULTIVARIANTES

6.1. Inferencia de Indicadores Clave para el año "n+1" si "n" es el último usado en el modelo.

Un principio general de la investigación científica es el de escoger siempre la hipótesis más simple de entre las probables que pueden explicar la realidad observada. La razón no es otra que cuanto más simple sea la hipótesis, más fácil será de contrastar y descubrir sus deficiencias, lo que permite aprender de los datos con mayor rapidez y seguridad. [39]

Contrastar una hipótesis requiere comparar las predicciones que se derivan de ella con los datos observados. Corroborarla, como se decía en los capítulos introductorios de la tesis, es asegurar que al menos, para los casos contrastados, las predicciones y los datos observados son estadísticamente válidos.

A lo largo de la tesis se han utilizado los datos históricos recopilados de 51 años, desde 1960 hasta 2010. En origen se partía desde los años 30, pero como se demostró, la escasa relación entre las aeronaves pioneras y las modernas introducían mas error que información. Estos datos incluían las aeronaves que componían la flota de las aerolíneas de referencia, con sus variables o parámetros caracterizadores, entre los cuales los había dimensionales y operativos, además de los indicadores de rendimiento anuales del conjunto de aerolíneas de la muestra. De esa información se ha partido para calcular los modelos de predicción multivariante para los indicadores de rendimiento o KPIs de las aerolíneas.

6.1.1. Comparación con Indicadores Clave reales.

La comparación con KPIs reales, es la forma de corroborar la validez de los modelos. Para ello se proponen los siguientes contrastes:

1. Se van calcular los KPIs para los años 2011, 2012 y 2013 partiendo de las aeronaves tipo que tienen las compañías en estos años, siguiendo el mismo método para el cálculo de las aeronaves tipo (Tabla 6.1-1) y utilizando los modelos de predicción multivariante (Tabla 6.1-2). Si bien en el título se habla del año n+1, dado que se dispone de datos, se ha estimado más completo hacerlo también para n+2 y n+3.
   Estos valores calculados se compararán con los reales u observados que suministra como dato el sector (Tabla 6.1-3).
   Se calcularán desviaciones y errores como se hizo en el apartado 5.5 de la tesis, y se valorará la idoneidad de los modelos para estas aeronaves y estos años de estudio.

2. Además, si todo lo anterior resultara adecuado y corroborara la idoneidad estadística, se calcularán los KPIs para dos aeronaves que no han intervenido en el modelo, es más, una de ellas aún no está operativa y la otra acaba de incorporarse. Una vez más se tomará un ejemplo de cada uno de los duopolistas del mercado de fabricantes de aeronaves para el transporte de pasajeros de medio y gran tamaño, que son Boeing y Airbus. Por parte de Boeing se toma el B787 Dreamliner y por parte de Airbus el A320 NEO.
   Con los parámetros de estas aeronaves y los modelos de predicción se calcularán los KPIs, que en este caso serán previsionales, comprobando la coherencia de los resultados con los esperables en un futuro próximo.

En este apartado en concreto se procederá al primero de los contrastes propuestos. Para ello, hay que completar la tabla con los tres años que se van a utilizar. Esta información se ha obtenido de diversas fuentes, como A4A (Airlines for America), FAA (Federal Aviation Administration), RITA (Research and Innovative Technology Administration) y US DOT (U.S. Department of Transportation). E[17] y E[18]

año	Lt (m)	A (m)	SupAl(m2)	N°M	PotUd(kN)	PaxMax*	CREW	Rg(km)	Vcru	MTOW (t)
2011(1)	44,41	4,31	166,23	3	148,76	223	2	6739	895	105,70
2012(2)	43,50	4,22	160,55	2	145,64	217	2	6597	880	101,93
2013(3)	42,52	4,12	154,71	2	141,96	210	2	6432	863	98,08

Tabla 6.1-1 Variables caracterizadoras de los aviones tipo de los años de contraste (2011-2013).
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS-20 y datos de Jane's All the World's Aircraft Aerospace Dictionary [10].

año	ASMs_Ud	RPMs_Ud	Pax LF(%)	CASM_C	RASM_C	PaxYield	GUY	ATMs
2011 (1)	159.105	89.247	82,49	10,573	12,240	14,57	2.391.560	1.045,30
2012 (2)	142.478	95.420	84,18	9,112	11,993	13,88	2.206.455	1.057,01
2013 (3)	151.658	102.869	82,53	8,791	11,506	13,46	2.468.102	1.021,48

* Variable excluida en todos los casos por el software SPSS 20 por colinealidad.
(1) Eliminada la influencia de la variable no significativa Longitud total (Lt) para la ecuacion de Galones por aeronave y año (GUY).
Eliminada la influencia de la variable no significativa Número de motores (N) de las ecuaciones de ASMs_Ud y RPMs_Ud.
Eliminada la influencia de la variable no significativa Tripulación (Cr) de la ecuación de CASM.
(2) Eliminada la influencia de la variable no significativa Número de motores (N) de las ecuaciones de RPMs_Ud y de Galones por aeronave y año (GUY).
Eliminada la influencia de la variable no significativa Tripulación (Cr) de la ecuación del Factor de ocupación Pax_LF(%).
Eliminada la influencia de la variable no significativa Longitud total (Lt) de la ecuación de ASMs_Ud.
Eliminada la influencia de la variable no significativa Tripulación (Cr) de las ecuaciones de CASM y RASM.
(3) Eliminada la influencia de la variable no significativa Número de motores (N) de las ecuaciones de RPMs_Ud y del Factor de ocupación Pax_LF(%).
Eliminada la influencia de la variable no significativa Número de motores (N) de la ecuación de Galones por aeronave y año (GUY).
Eliminada la influencia de la variable no significativa Longitud total (Lt) de la ecuación de ASMs_Ud.
Eliminada la influencia de la variable no significativa Tripulación (Cr) de las ecuaciones de CASM y RASM.

Tabla 6.1-2 KPIs de aviones tipo de años de contraste calculados con modelos de predicción multivariante. (2011-2013).
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS-20 y datos de Jane's All the World's Aircraft Aerospace Dictionary [10].

año	ASMs_Ud	ASM/ud	e(Abs)	e(%)	RPMs_Ud	RPM/ud	e(Abs)	e(%)	Pax LF(%)	Pax LF(%)	e(Abs)	e(%)	CASM_C	CASM_C	e(Abs)	e(%)
2011	159.105	140.018	-19.087	-14	89.247	114.866	25.618	22	82,49	82,00	0	-1	10,573	11,449	1	8
2012	142.478	138.871	3.607	-3	95.420	114.943	19.523	17	84,18	82,80	-1	-2	9,112	11,965	3	24
2013	151.658	144.089	-7.568	-5	102.869	119.760	16.891	14	82,53	83,10	1	1	8,791	10,983	2	20
año	RASM_C	RASM_C	e(Abs)	e(%)	PaxYield	PaxYield	e(Abs)	e(%)	GUY	GUY	e(Abs)	e(%)	ATMs	ATMs	e(Abs)	e(%)
2011	12,240	12,115	0	-1	14,57	14,77	0	1	2.391.560	2.476.575	85.020	3	1.045,30	1094,47	49	4
2012	11,993	12,284	0	2	13,88	14,84	1	6	2.206.455	2.366.215	159.759	7	1.057,01	1093,11	36	3
2013	11,506	12,347	1	7	13,46	14,85	1	9	2.468.102	2.399.242	-68.860	-3	1.021,48	1108,00	87	8

Tabla 6.1-3 Contraste de KPIs reales y calculados con modelos para aviones tipo. (2011-2013).
Fuente: Research and Innovative Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation (US-DOT) y anuarios de A4A (Airlines for America) y SPSS-20 para esta tesis. E[17] y E[18]

Tras el contraste se corrobora nuevamente lo adecuado de los modelos de predicción ya que tras la eliminación de algunas variables que en el estudio multivariante resultaron no significativas se llega a unos resultados en los que se puede observar que:

- ≠ En el 91,7% de los valores calculados (22 de 24) la desviación en valor absoluto no supera el 20%.
- ≠ La media de la desviación no supera el 7,2% en 6 de los 8 indicadores calculados y no supera el 18% en ninguno de ellos.
- ≠ Hay 6 indicadores, que no tienen un solo valor con una desviación por encima del 20% y sus medias están entre el 0,98% y el 7,16%.

6.2. Inferencia de KPIs para aeronaves reales de reciente o próxima comercialización a partir de sus variables caracterizadoras utilizando los modelos de predicción multivariante.

En el apartado anterior se ha contrastado la validez de los modelos utilizando los aviones tipo anual o aviones reales que habían participado en los datos estadísticos de partida para el estudio estadístico. En este apartado, por primera vez, se van a incluir aeronaves cuyos parámetros o variables caracterizadoras no formaron parte del grupo utilizado para calcular los aviones tipo anuales que luego han servido de nexo entre las variables y los KPIs.

Los aviones seleccionados como más significativos para la década 2015-2025 pertenecen a los dos grandes fabricantes mundiales que prácticamente en régimen de duopolio se reparten el mercado de las aeronaves para el transporte de pasajeros, evidentemente se está hablando de Airbus y Boeing.

Por parte de Airbus, había tres posibilidades, la familia del A320 NEO, la del A350 y el coloso A380. De todas ellas se ha elegido el A320 NEO por ser el de dimensiones más afines con las utilizadas en los modelos, ya que no se tiene la certeza de que estos mantengan su validez fuera de los márgenes en los que fueron creados.

Por parte de Boeing, había menos dudas y menos posibilidades, el B878 Dreamliner no era el ideal por su tamaño, más en la línea del A350, pero cumplía razonablemente la premisa de ser novedad del gran fabricante americano y aunque es una avión de doble pasillo y tamaño grande, con algunas exclusiones podría encajar.

Las variables caracterizadoras de estos dos aviones son las de la tabla 6.2-1, con ellas se calculan los KPIs que se detallan en la tabla 6.2-2.

año	Lt (m)	A (m)	SupAl(m2)	NºM	PotUd(kN)	PaxMax*	CREW	Rg(km)	Vcru	MTOW (t)
B787-8(a)	57,00	5,75	325,00	2	247,50	250	4	14350	908	231,00
A320neo(b)	37,60	3,95	140,00	2	120,20	180	3	5900	825	75,00

Tabla 6.2-1 Variables caracterizadoras del B787-8 DreamLiner y el A320 NEO.
Fuente: Boeing y Airbus. E[20] y E[21]

año	MTOW (t)	ASMs_Ud	RPMs_Ud	Pax LF(%)	CASM_¢	RASM_¢	PaxYield	GUY	ATMs
B787-8(a)	231,00	295.903	291.534	77,92	11,520	12,609	15,67	2.126.160	1.773,67
A320neo(b)	75,00	214.084	145.149	78,82	12,428	12,880	16,55	1.960.469	875,29

* Variable excluída en todos los casos por el software SPSS 20 por colinealidad.
(a) Eliminada la influencia de la variable no significativa Longitud total (Lt) para la ecuacion de Galones por aeronave y año (GUY) y Mtow en RASM.
Eliminada la influencia de la variable no significativa Velocidad de Crucero (Vc) de las ecuaciones de ASMs_Ud y RPMs_Ud.
Eliminada la influencia de la variable no significativa Tripulación (Cr) de las ecuaciones de RPMs_Ud, Pax_LF_% y RASM.
Eliminada la influencia de la variable no significativa Potencia unitaria (Pu) de las ecuaciones de RASM y CASM.
Eliminada la influencia no significativa del Término independiente (Cte) de las ecuaciones del Factor de ocupación Pax_LF(%), CASM y PxYield.
(b) Eliminada la influencia de la variable no significativa Número de motores (N) de las ecuaciones de de ASMs_Ud, RPMs_Ud. y año CASM.
Eliminada la influencia no significativa del Término independiente (Cte) de las ecuaciones del CASM y PxYield y Mtow en RASM.

Tabla 6.2-2 KPIs del B787-8 DreamLiner y del A320 NEO a partir de los modelos de predicción multivariante.
Fuente: Elaborado para esta tesis con SPSS-20 y datos de Boeing y Airbus. E[20] y E[21].

Como se preveía dada la diferencia de tamaño, que se puede comprobar en la tabla 6.2-1, la aeronave de Boeing, se ajusta peor al modelo, por ello hay que eliminar algunas variables no significativas de los modelos de previsión. Mientras que en el caso de la aeronave de Airbus, mucho más próxima a las aeronaves utilizadas en la creación del modelo, apenas necesita eliminar variables no significativas de los modelos de predicción. Esto es algo que ya se había observado y utilizado en el apartado de contrastes cuando se utilizaron aeronaves reales de las que formaban parte de la familia de estudio (Tabla 5.5-4) y en la utilización de los modelos para el cálculo de los KPIs para aeronaves tipo calculadas para los años n+1, n+2 y n+3, es decir de 2011 a 2013, y se puede comprobar en la (Tabla 6.1-2).

Como cualquier modelo estadístico, sus predicciones serán mejores dentro del intervalo utilizado para su creación y las desviaciones aumentarán cuanto más lejos se esté del intervalo o más se aproxime el estudio a los extremos del mismo.

En resumen se puede concluir que los modelos predictivos multivariantes calculados son perfectamente utilizables en aeronaves no utilizadas en la creación del modelo y que a pesar de tener un diseño más moderno que las aeronaves utilizadas en la creación de los modelos de momento no los invalida.

6.3. Relevancia en el diseño de flotas de las aerolíneas.

En los apartados anteriores se ha contrastado la validez de los modelos de predicción multivariante para diferentes versiones de aeronaves ya fueran calculadas como las aeronaves tipo o cogidas de catálogo como es el caso de las aeronaves reales. Además, según se decía en el apartado 2.7 de la tesis, uno de los objetivos de todo el estudio era que el modelo obtenido pudiera servir a una aerolínea para tener un dato más que les ayudara en el proceso de planificación de su flota, es decir, predecir qué aeronaves y en qué número configurarán su flota para atender la demanda en función de sus previsiones comerciales o su estrategia empresarial en un horizonte temporal determinado, que según se decía estaría normalmente entre 7 y 10 años.

Conviene recordar que la flota de aviones es un recurso cambiante y vivo sujeto a muchos condicionantes, por lo que la composición de una flota sólo es válida para las condiciones en las que se crean los modelos de optimización entre los que los modelos predictivos multivariantes generados en esta tesis, sólo pretenden ser un dato, puede que de partida, a conjugar con el resto de premisas técnicas, económicas, financieras y estratégicas de la aerolínea.

La gran pregunta es ¿qué pueden aportar los modelos de predicción multivariante objeto de esta tesis?.

Antes de dar respuesta a esta pregunta es conveniente revisar el flujograma que el profesor Belobaba [6], adaptó del utilizado por McDonnell Douglas y que se puede ver en la página 93 de esta tesis, y para mayor facilidad en la exposición de este apartado se vuelve a incluir a continuación (Gráfico 6.3-1), remarcando esta vez, los KPIs que aparecen en el flujograma como relevantes en el diseño de flotas y para los cuales se ha creado modelo de predicción en esta tesis. En este flujograma se describe el proceso que debe seguir una aerolínea para diseñar su flota o más concretamente para elegir una aeronave u otra ante una previsión de tráfico aéreo a la que atender.

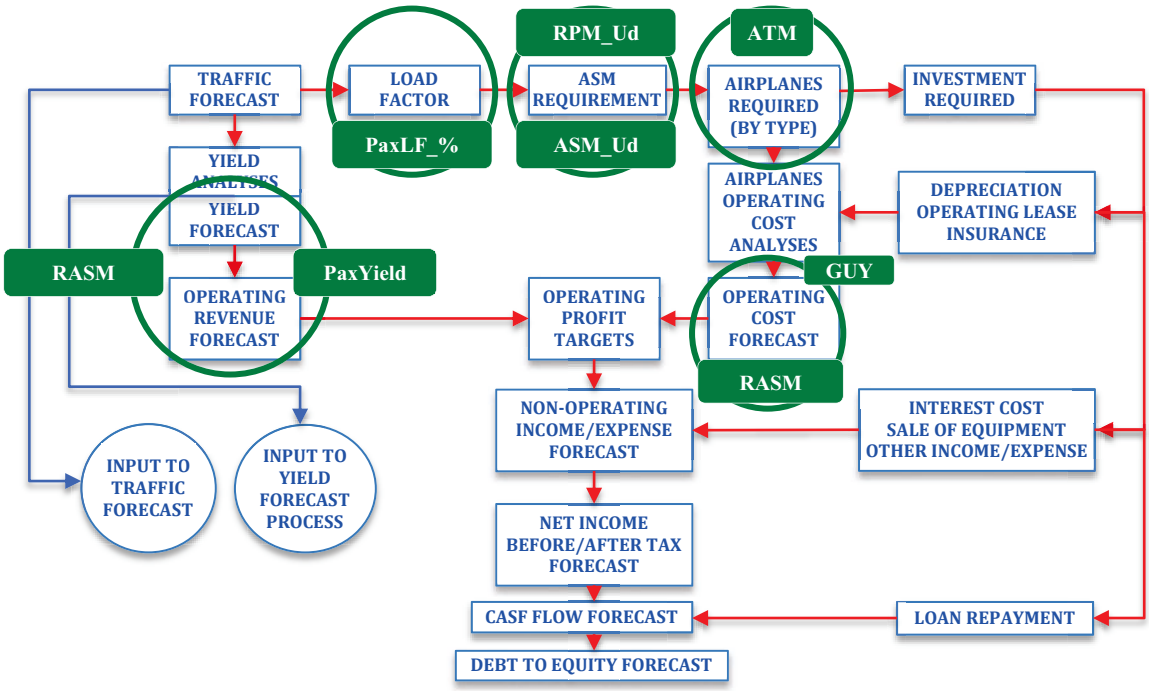


Gráfico 6.3-1 Fleet planning economic evaluation process with KPI models included

Source: THE GLOBAL AIRLINE INDUSTRY – Belobaba, P. [6]
Adapted from McDonnell Douglas (1981)
Adapted for this Thesis

Como se puede ver en el procedimiento descrito por Belobaba [6], partiendo de unas previsiones comerciales y con la ayuda de los indicadores de rendimiento utilizados en esta tesis, se puede definir la flota en primera aproximación.

A partir de las previsiones comerciales, la aerolínea puede tener dudas sobre la idoneidad entre 2 o 3 de las aeronaves comerciales. Cada aeronave tendrá sus variables caracterizadoras, como es lógico diferentes, y este factor diferenciador es el que se puede valorar a través de los modelos de predicción multivariante, ya que cada una de ellas tendría unos KPIs propios, que comparados con los que requieren las previsiones comerciales y económico-financieras definirán la mayor idoneidad de una de ellas.

Por ello en todo momento se incide en que este modelado es sólo un dato más, algo de información derivada de un comportamiento estadístico, algo que recientemente utilizan hasta los entrenadores de porteros de futbol a la hora de enfrentarse a un lanzador de penaltis, la estadística les predice el lugar más probable por el que irá el lanzamiento, lo cual no garantiza ni mucho menos que el lanzador no lo haga de manera diferente.

Evidentemente, como consecuencia de lo anterior, el proceso pasa por valorar en conjunto toda la información y una vez reducido el número de posibilidades a dos o tres aeronaves, se puede utilizar como ayuda, como un dato más, que ahorra tiempo y acentúa las diferencias que de otra manera podrían ser más difícil de ver, y por lo tanto facilita la posibilidad de discriminar y elegir la aeronave que mejor se ajusta a las previsiones a cubrir.

Comprobada la relevancia potencial de los modelos de predicción multivariante obtenidos, y verificado que el objetivo se cumple suficientemente, sólo queda el apartado de conclusiones y nuevas líneas de mejora y profundización para esta tesis.

Capítulo 7

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

7.1. Compendio y Conclusiones.

Al llegar a este punto de la tesis, existían diferentes formas de abordarlo. Evidentemente tenía que contener una información determinada, pero se podía presentar desde diferentes perspectivas, y entre ellas, se ha decidido redactarlo pensando en los dos tipos de lectores potenciales. Por un lado se ha redactado para que el que ha llegado hasta aquí tras la lectura de todo el documento encuentre un recordatorio ordenado y concluyente, pero también se ha redactado para el lector que ha decidido empezar por aquí, en este caso encontrará una visión global y clarificadora de la investigación y sus resultados con la intención de que sean razonablemente entendibles sin conocer el resto. Por ello lo que se va a exponer a continuación son los principales titulares y las reflexiones finales de todo el desarrollo llevado a cabo en esta tesis doctoral. Se destacarán aspectos fundamentales para valorar el trabajo realizado tales como la medida en que se han cumplido los objetivos o contrastado las hipótesis, el valor de las aportaciones del trabajo realizado, las limitaciones que inevitablemente conlleva o los descubrimientos no previstos encontrados durante la investigación.

Una elocuente manera de empezar sin duda, pasa por revisar lo que se decía en el apartado 1.2 de título —Objetivo de la Tesis". Lógicamente recordar lo allí expuesto permitirá valorar como se han cumplido los objetivos iniciales, que es algo fundamental y además constituye una medida del éxito de todo el trabajo.

Por ello, de dicho apartado, se han rescatado las reflexiones sobre el propósito de la tesis y se ha podido comprobar, que ya en el inicio se marcaba como objetivo la **creación de un modelo que vinculara los datos sobre las características y performances de cualquier aeronave con su posterior productividad y rendimiento en una aerolínea**, restringiendo la validez del modelo a su uso en un entorno general estable.

A estas alturas es posible afirmar, que el objetivo se ha cumplido. A lo largo del capítulo 5 y en concreto en el apartado 5.4 se han ido obteniendo unos modelos de predicción multivariantes para cada uno de los indicadores clave de rendimiento (KPIs) seleccionados. Estos KPIs son las variables dependientes en las ecuaciones inferidas en el apartado 5.4 y se calculan en función de un selecto conjunto de variables que caracterizan a las aeronaves a lo largo de su historia y que van a ser las variables independientes de dichas ecuaciones. Previamente estas variables se han contrastado como caracterizadoras de las aeronaves y su evolución histórica a lo largo del capítulo 4 y además en este mismo capítulo, estas variables se han depurado para evitar redundancias o colineallidad y con el objetivo de poder trabajar con el menor número posible de ellas, sin restar en ningún momento generalidad ni validez, buscando no obtener ecuaciones muy complejas en los diferentes modelos.

Tras todo el proceso y tal y como se expone en el apartado 5.5, la ecuación matricial (28), con los coeficientes reflejados en la Tabla 5.5-1, constituye un modelo conjunto de predicción en las condiciones pretendidas y en función de las variables prefijadas absolutamente original desarrollado especialmente para esta tesis. Quedando con ello justificada la consecución del objetivo buscado.

Había además la pretensión extra de que el modelo una vez corroborado, pudiera servir de ayuda a las compañías aéreas en la toma de decisiones sobre la configuración de su flota, en la parte que involucraba únicamente a las características de las aeronaves. Se intentaba que esta tesis al margen de que sea una investigación teórica sobre datos empíricos, pudiera ser también una investigación aplicable, reportando utilidad práctica a quien decida utilizarla. En este sentido, en el apartado 2.7 del capítulo de —Antecedentes", titulado —Planificación de flotas: proceso de selección de las aeronaves en las aerolíneas", se exponía la importancia práctica y económica, la dificultad científica y la metodología que utilizan las

aerolíneas para este fin. Tomando en consideración este apartado, en el capítulo 6 de —Corroboración de los modelos", se ha incluido un apartado (6.3) titulado —Relevancia en el diseño de flotas", en el que con la base metodológica expuesta en el apartado 2.7, se ha explicado cómo los modelos obtenidos podrían facilitar y simplificar el diseño de flotas a las compañías. Algo absolutamente novedoso y original desarrollado para esta tesis, que además de validar su utilidad práctica, corrobora su validez matemática.

No entraba entre los objetivos de la tesis y así se establecía en el apartado 1.2, evaluar la influencia del entorno socioeconómico y legal. Se razonaba, que aún aceptando la posibilidad de que en algún momento las variaciones del entorno general, los ciclos económicos y los conflictos internacionales pueden afectar de manera muy significativa al crecimiento o decrecimiento de la demanda y que esto podría perturbar los indicadores clave de rendimiento, cabe interpretar que en el marco de esta tesis, esta perturbación debería afectar en el mismo sentido a todos los tipos de aeronaves. Además si se tiene en cuenta que desde 1960 a 2010, que es el periodo marco de los datos estadísticos, ha habido fluctuaciones económicas, sociales y legales de todo tipo, se puede asegurar que este entorno variable se habrá recogido en los modelos por lo que éstos estarán dotados de la suficiente versatilidad ante futuros entornos.

Para establecer y corroborar todas las hipótesis se ha divido la tesis en dos partes:

1. En la primera se eligen con diferentes criterios las aeronaves más representativas, en ellas se recopilan, seleccionan y depuran las variables caracterizadoras más importantes y significativas, así como la relación estadística entre las aeronaves y las variables utilizadas.
2. En la segunda se seleccionan los KPIs más habituales entre los usados por las aerolíneas y se realiza el análisis estadístico que los relaciona con las variables caracterizadoras de los aviones tipo, que previamente se han calculado para los datos recopilados en la primera parte de la tesis, obteniendo como resultado los modelos predictivos multivariantes buscados, en el que las variables independientes son las características de los aviones tipo y las dependientes los KPIs.

Tanto para el lector de todo el documento como para alguien que empiece la lectura de la tesis por el final, la manera más sencilla de valorar el resultado es exponer de manera ordenada todas las hipótesis, ubicarlas en el contexto de la tesis y establecer las conclusiones para cada una de ellas.

El orden se presenta en el apartado 1.4 –Estructura de la Tesis", y las hipótesis se definen, se desarrollan y resuelven según se muestra a continuación.

Hip 1. *Es posible hacer una* ***selección de las aeronaves*** *más significativas por su presencia e impacto que constituyan una* ***muestra representativa*** *de todas las utilizadas en los años del intervalo estudiado.*

- **i.** En los diferentes apartados del capítulo 3, se describen la necesidad de obtener la muestra representativa (3.1), los criterios de selección (3.2), los resultados y la justificación apropiada de los mismos (3.3).
- **ii.** El resultado es un conjunto de 24 aeronaves que representan adecuadamente a todas las utilizadas para el transporte de pasajeros entre 1960 y 2010 tal y como se enunciaba en la hipótesis.

Hip 2. *Las* ***aeronaves para el transporte de pasajeros*** *se pueden definir a través de un número pequeño* ***variables características****, que las hacen inequívocas, las representan y las diferencian de las demás.*

- **i.** En la parte final del apartado 3.3, se asocian 24 variables caracterizadoras a las 24 aeronaves seleccionadas.
- **ii.** El resultado es una matriz de 24x24, en la que los individuos estadísticos a estudiar son 24 vectores (cada aeronave seleccionada) con 24 componentes (cada variable caracterizadora), definiendo de manera única e inequívoca a cada vector por sus coordenadas, es decir a cada aeronave por sus características, tal y como se enunciaba en la hipótesis.

Hip 3. *Las* ***variables características*** *del epígrafe anterior,* ***recogen*** *la mayor parte de los adelantos tecnológicos y con ellos la* ***evolución*** *del conjunto de aeronaves para el transporte de pasajeros y además se pueden* ***optimizar en número****.*

i. De las lectura de los apartados 3.2 y 3.3 se puede ver la significación histórica y evolutiva y a lo largo del capítulo 4 la depuración estadística para optimizar en número sin perder generalidad.

ii. El proceso mismo de selección de las aeronaves hace que exista una fuerte vinculación con el momento y la tecnología asociada. El resultado se puede ver de manera muy elocuente en los clúster detectados entre los datos estadísticos (apartado 3.3) ya que esta metodología ha sido capaz de separar las aeronaves más antiguas con motores de pistón, de las más modernas con motores a reacción y entre ellas, el grupo de aeronaves de fuselaje ancho de las de fuselaje estrecho. Además a lo largo los apartados del capítulo 4 se realizan diferentes contrastes para valorar la significación e independencia de las variables elegidas. Obteniendo como totalmente independientes y representativas 10 variables que en el apartado 4.3 se resumen junto a los valores para las 24 aeronaves (Tabla 4.3-1) y suponen la consecución de lo enunciado en esta hipótesis.

Hip 4. *Si de entre todas las aerolíneas del mundo,* ***el estudio se concreta en una muestra*** *formada por las aerolíneas norteamericanas agrupadas en las asociaciones nacionales utilizadas en esta tesis, éste* ***no pierde ni generalidad, ni validez, siendo extrapolables los resultados*** *a mercados maduros semejantes al de la muestra.*

i. Ya en la segunda parte de la tesis, en concreto en el apartado 5.1, se exponen los criterios de selección de la muestra, se analiza el entorno general, el específico y las características de madurez de la industria, tanto en la muestra como en el mercado.

ii. El resultado es una serie de gráficos (Gráficos 5.1-1/2 y 3) que localizan y contrastan la muestra como representativa tal y como se enunciaba en la hipótesis.

Hip 5. *Los valores de los de los* ***KPIs anuales*** *estarán* ***en función de las características de la flota*** *de la que proceden.*

i. Se describen las flotas e indicadores de actividad del mercado elegido como muestra desde 1937 hasta 2010 (apartado 5.2), observando la evolución de los indicadores en función de la composición de la flota.

ii. El resultado es una gran tabla final (Tabla 5.2-13) en la que se ligan los indicadores de rendimiento (KPIs) a un año de referencia y por ende a una flota determinada para ese año (Tabla 5.2-1) tal y como se enunciaba en la hipótesis.

Hip 6. *Los* ***Indicadores Clave de Rendimiento de las aerolíneas (KPIs)****, están influenciados, o mejor dicho,* ***vinculados a las características de las aeronaves****.*

i. A lo largo del capítulo 5.2 se puede observar que la flota anual va cambiando de aeronaves y con este cambio, por lógica, hay un cambio en las variables características de las aeronaves, por lo que los cambios en los KPIs anuales estarán vinculados a los cambios en las variables características de la flota.

ii. Como resultado, se vincularán las variables características de la flota a los KPIs tal y como se enunciaba en la hipótesis.

Hip 7. *La* ***flota anual****,* ***se puede sustituir*** *por un* ***número equivalente de aeronaves todas idénticas****, que denominaremos* ***avión tipo anual****.*

i. En el capítulo 5.3 se exponen los conceptos y se demuestra que se puede sustituir la flota de las compañías aéreas de la muestra en un determinado año, por otra flota formada por el mismo número de aeronaves, pero ahora todas iguales y con unas variables características calculadas como una media ponderada de las variables características de las aeronaves de la flota, utilizando como factor de ponderación el número en el que cada una de ellas está en servicio en la flota de ese año.

ii. Como resultado, se obtienen todas las variables caracterizadoras de los aviones tipo anual desde 1938 a 2010 (Tabla 5.3-1) y se segregan las 10 variables caracterizadoras seleccionadas en el periodo elegido obteniendo los aviones tipo anuales desde 1960 a 2010 (Tabla 5.3-2) que serán los utilizados para inferir los modelos tal y como se enunciaba en la hipótesis.

Hip 8. *Dadas las hipótesis 6 y 7* ***se pueden vincular*** *las* ***características de los aviones tipo anuales*** *a los* ***KPIs correspondientes*** *a los años que dichos aviones tipo representan.*

i. En el apartado 5.4, se establece la relación entre los KPIs y los aviones tipo, exponiendo las premisas del modelo general de regresión. La ventaja es vincular

unos valores representativos a los KPIs del año, algo que no sería posible utilizando toda la flota.

ii. El resultado es la tabla 5.4-1 en el que se pueden ver los KPIs seleccionados desde 1960 a 2010, que estarán vinculados a los aviones tipo anual de la tabla 5.3-2 tal y como se enunciaba en la hipótesis siendo una aportación original y fundamental en esta tesis.

Hip 9. *Esta vinculación* ***se podrá representar como un sistema de ecuaciones cuyas variables dependientes son los KPIs y las independientes las variables caracterizadoras de las aeronaves****,* ***formando dicho sistema un modelo conjunto de predicción multivariante.***

i. A lo largo del apartado 5.4, utilizando como variables dependientes o de respuesta los KPIs de los 51 años de estudio y como variables independientes o explicativas las caracterizadoras de los aviones tipo anual de esos mismos 51 años, se han ido obteniendo una a una las ecuaciones de regresión de cada KPI en función de las diez variables caracterizadoras, contrastando su validez desde un punto de vista estadístico, utilizando como apoyo para los cálculos el software especializado SPSS-20.

ii. El resultado es la ecuación matricial (28) cuyos coeficientes se detallan en la tabla 5.5-1, que representa un sistema de 8 ecuaciones en la que cada una es un modelo de predicción multivariante para calcular 8 KPIs a partir de 10 variables características tal y como se enunciaba en la hipótesis.

Este **modelo que vincula los datos sobre las características y performances de las aeronaves con su posterior productividad o rendimiento en una aerolínea** es el objetivo de esta tesis doctoral. Por lo que el contraste de esta última hipótesis es el contraste que corrobora toda la tesis.

Este punto fundamental que constituye el **contraste,** se ha dividido en varios **pasos**:

1. Se han alimentado las ecuaciones del modelo con las variables de **los aviones tipo de los 51 años de estudio** (Tabla 5.5-2), obteniéndose unos resultados que al ser contrastados con los reales (Tabla 5.5-3) han dado unos porcentajes de aproximación con desviaciones inferiores al 20% para el 80% de los casos y con una media de desviación por debajo del 13% en 7 de los 8 KPIs calculados. Precisamente

eliminando de la estadística el indicador (CASM) que está por encima del 13%, el porcentaje de valores con desviaciones inferiores al 20% sube al 90%, según se detalla en el apartado 5.5.

2. Se han introducido en el modelo las variables caracterizadoras de **aviones reales** que habían formado **parte de la flota de estudio** en los años utilizados para hallar el modelo. Con ello se han podido calcular los indicadores de rendimiento teóricos (KPIs) de esos aviones (Tabla 5.5-4). Se han obtenido unos valores totalmente reales y coherentes en orden de magnitud que contrastados con los de los años donde los aviones tipo anual eran similares (Tabla 5.5-5), dan aproximaciones notables. Hay que destacar, que si bien en alguno de ellos ha habido que eliminar alguna de las variables caracterizadoras, estas eran en todo momento variables que en el estudio estadístico salieron como no significativas.

3. Una vez demostrada la validez para n=2010, **el modelo se corroborará** si sigue siendo válido **para n+1=2011**. En el caso de esta tesis, se ha probado también con **n+2=2012 y n+3=2013**. En primer lugar, para seguir el proceso, se han calculado las variables caracterizadoras de los aviones tipo anuales para estos tres años (Tabla 6.1-1), introduciendo estos valores en los modelos se calculan los valores teóricos de los KPIs para este trienio de contraste (Tabla 6.1-2). A primera vista los valores obtenidos tras la exclusión de variables no significativas, según se indica, son razonablemente posibles. Contrastándolos con los valores reales de los KPIs suministrados por los organismos oficiales, se observa una gran aproximación en la que la media de la desviación no supera el 7,2% en 6 de los 8 indicadores y en todos está por debajo del 20%. Hay 6 indicadores con desviaciones medias por debajo del 7, 16%.

4. Como **último contraste** propuesto, está el reto de **introducir dos aeronaves** de **reciente o próxima comercialización** y **predecir sus valores futuros**. Se han elegido el **Boeing 787-8 DreamLiner y el Airbus A320-NEO.** En la Tabla 6.2-1 se han descrito sus variables caracterizadoras y en la Tabla 6.2-2 los valores predictivos de los KPIs. El resultado es coherente con lo esperado y aunque nuevamente ha habido que excluir variables, siempre fueron de las que en el estudio estadístico salieron como no significativas. Reseñar que estas exclusiones se dieron sobretodo y en un mayor número de casos en la aeronave de Boeing.

Sólo queda concluir que **queda evidenciado el contraste de todas las hipótesis utilizadas en la tesis,** por lo que **en definitiva queda justificada la tesis**, como se quería exponer en el apartado de conclusiones.

Contrastadas las hipótesis, llega el momento de valorar las aportaciones de esta tesis. Para ello conviene distinguir entre las aportaciones esperadas y las no esperadas, teniendo en cuenta las limitaciones observadas.

Dentro de las **aportaciones esperadas**, decir que cubre las expectativas, ya que se ha conseguido el modelo o modelos buscados para poder predecir en función de algo tan concreto como son las características de una aeronave, el rendimiento medio esperado en su servicio. Por tanto, estos modelos son de utilidad, ya que serán una herramienta más a disposición de las aerolíneas a la hora de elegir entre dos o tres aeronaves distintas para cubrir un servicio.

No es inesperado por la forma que se ha obtenido, pero **limita su uso**, el hecho de que al alejarse de los valores extremos con los que se ha diseñado el modelo, su precisión y por lo tanto su validez baja. Por ello, es mucho más preciso para el A320NEO que para el B787-8.

Como **aportación inesperada**, pero lógica, la relación entre las diferentes variables caracterizadoras, que nos indica que los valores en las dimensiones y características de una aeronave para el transporte de pasajeros están fuertemente correlacionados. Esto abre la vía a estudios más profundos, lo que da pié a pasar al siguiente apartado dedicado a propuestas para trabajos futuros.

7.2. Trabajos Futuros.

Las exclusiones, las limitaciones, la selección de una muestra concreta o las aportaciones inesperadas, son las vías que a priori se pueden explorar en el futuro.

Evidentemente, la exclusión de la influencia del entorno general en el modelo buscado, abre la posibilidad de dejar para un estudio posterior las modificaciones necesarias en el modelo para poder introducir este tipo de entornos como parte importante para la toma de decisiones, entendiendo que si bien cualitativamente afecta por igual a todas las aeronaves, no lo hace cuantitativamente y que una compañía aérea que no tenga ámbito mundial, no podría compensar las demandas de unas partes del mundo con las de las otras.

Otra limitación proviene del propio muestreo, si se seleccionaran otros mercados diferentes al norteamericano, incluso si se trabajara con datos mundiales, los resultados previsiblemente serían diferentes. También se soslayaría la limitación proveniente de utilizar unas determinadas aeronaves, aumentando el número de aeronaves utilizadas o incluyendo más aviones a ambos lados de los extremos, para aumentar el intervalo de uso del modelo.

Ambas vías se dejan para posteriores investigaciones, aunque a la vista de los resultados, se considera de más interés justo lo contrario a lo anteriormente expuesto, en lugar de ir hacia la generalización, ir a la especialización, es decir, hacer estudios diferentes para cada tipo de aeronave, separando claramente las de motor a reacción de las que no lo son y/o las de fuselaje ancho de las de fuselaje estrecho, porque posiblemente conllevaría unos resultados más fiables e interesantes. No obstante, también se propone y se deja para futuros trabajos.

Existe otra propuesta de trabajo futuro, evidente a la luz de las conclusiones, que ya se expuso al final de las mismas. Está orientada en un sentido totalmente diferente a las

demás y surge de una de las aportaciones inesperadas de la tesis. Esta línea para futuras investigaciones estaría en referencia a la correlación entre las diferentes variables caracterizadoras y el indicio de que los valores en las dimensiones y características de una aeronave para el transporte de pasajeros están matemáticamente vinculados.

Existe un tipo de diseño, muy de moda por las infinitas posibilidades que revela, que es el diseño paramétrico. Si se consiguiera la relación matemática entre las variables caracterizadoras, utilizando un software de diseño 3D tipo CATIA de Dassault Systems, se podrían obtener de manera automática diseños preliminares de aeronaves a partir de datos tan elementales como el número de pasajeros máximo que se quieren transportar o la envergadura de las alas. Este campo sin duda ahorraría años de desarrollos y millones en costes.

A partir de aquí, con un prisma orteguiano, el futuro de la investigación vendrá derivado de las circunstancias de cada momento, por lo que si alguno de los campos resultan de interés sólo cabe seguir de cerca las publicaciones futuras.

Para terminar y en la certeza de que la lectura de esta tesis no es fácil, tanto al lector disciplinado que haya decidido seguir el índice, como el ocasional que haya ido saltando de apartado en apartado buscando en cada momento lo que le resultaba curioso, muchas gracias por la atención prestada.

Capítulo 8

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-
- [n] **Monografías**
- I[n] **Informes**
- T[n] **Tesis doctorales**
- E[n] **Páginas web**
- R[n] **Artículos en Revistas**
- S[n] **Publicación seriada**
- L[n] **Legislación**
- N[n] **Normas**
- P[n] **Papers y ponencias en Congresos**

• Monografías

[1]. HAIR, Joseph F. Jr.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L.; BLACK, William C. *Análisis multivariante.* 5ª Ed. Gómez Suárez, Mónica (Revisión técnica). Cano, Diego (trad.). Prentice Hall Iberia. Madrid 1999. 832 p. ISBN: 84-8322-035-0.

[2]. WOOLDRIDGE, Jeffrey M. *Introducción a la Econometría. Un enfoque moderno.* 1ªEd. Atzimba Ruíz Galindo, Lucía (Revisión técnica). Dávila, F.J. (trad.). Thomson Learning, Inc. México 2001. 816 p. ISBN:970-686-054-1.

[3]. GUJARATI, Damodar N. *Econometría.* 4ª Ed. Misas Arango, Martha (Revisión Técnica). Garmendia Guerrero, D. (trad.). Mc-Graw Hill Interamericana, México 2004. 1002 p. ISBN:970-10-3971-8.

[4]. ABDELGHANY, Ahmed; ABDELGHANY, Khaled. *Modeling Applications in the Airline Industry.* 1ª Ed. Ashgate Publishing Limited, England 2004. 278 p. ISBN:978-0-7546-7874-8.

[5]. PEÑA, Daniel. *Análisis de datos multivariantes.* 1ªEd. McGraw-Hill Interamericana, España 2002. 515 p. ISBN: 844-813-610-1.

[6]. BELOBABA, Peter; ODONI, Amedeo; BARNHART, Cynthia. *The Global Airline Industry.* 1ª Ed. John Wiley & Sons, Ltd. United Kingdom 2009. 494 p. ISBN: 978-0-470-74077-4

[7]. OUM, Tae Hoon; YU, Chunyan. *Winning Airlines: Productivity and Cost Competitiveness of the World's Major Airlines.* 1ª Ed. Springer-Verlag New York, LLC. Transportation Research, Economics and Policy Series. United Kingdom 2009. 494 p. ISBN: 978-0-470-74077-4.

[8]. WENSVEEN, John G. *Air Transportation: A Management Perspective.* 7ª Ed. Ashgate Publishing Limited, Great Britain 2011. 604 p. ISBN: 978-1-4094-3063-6.

[9]. TANEJA, Nawal K. *Looking Beyond the Runway.* 1ª Ed. Ashgate Publishing Limited, Great Britain 2010. 354 p. ISBN: 978-1-4094-0099-8.

[10]. JACKSON, P. *Jane's All the World's Aircraft.* Aviation annual publication. Ed. Jane's Information Group, Great Britain 100th 2009-2010 ed. 1.004 p. ISBN: 0710628803.

[11]. DOGANIS, Rigas. *The airline business.* 2ª Ed. London: Routledge, United Kingdom 2006, 307 p. ISBN:0-415-34615-0.

[12]. PORTER, Michael E. *Estrategia competitiva: técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia;* [traducido por Alfonso Vasseur Walls; revisado por Miguel León Garza]. 2ª Ed. London: México: Compañía Editorial Continental, 1982, 407 p. ISBN: 968-26-0349-8.

[13]. KAPLAN, Robert S y NORTON, David P. *The balanced scorecard: translating strategy into action.* Harvard Busines School, 1996, 322 p. ISBN: 0875846513.

[14]. ANDERSON Jr., J.D. *The Airplane, A History of Its Technology*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Reston, VA, 2002.

[15]. BAYNE, W.J. and D.S. Lopez (Editors). *The Jet Age*. Smithsonian National Air and Space Museum, Washington, DC, 1979.

[16]. BILSTEIN, R.E. *Flight in America 1900–1983*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1984.

[17]. CHAIKIN, A. *Air and Space*. The National Air and Space Museum Story of Flight, Smithsonian Institution in association with Bulfinch Press, Boston, 1997.

[18]. CHANT, C. *Aviation, An Illustrated History*. Orbis Publishing, London, 1978.

[19]. GIBBS-SMITH, G.H. *The Invention of the Aeroplane*. Taplinger Publishing Cy., New York, 1965.

[20]. GIBBS-SMITH, G.H. *A Brief History of Flying, from Myth to Space Travel*. British Science Museum Booklets, London, 1967.

[21]. GIBBS-SMITH, G.H. *Aviation, An Historical Survey, from Its Origins to the End of World War II*. Her Majesty's Stationary Office, London, 1970.

[22]. GREEN, W. and CROSS, R. *The Jet Aircraft of the World*, Macdonald, London, 1955.

[23]. GUNSTON, B. (Editor). *Chronicle of Aviation*. Chronicle Communications Ltd., United Kingdom, 1992. Also: J.L. International Publishing Inc., USA, 1992.

[24]. HEPPENHEIMER, T.A. *A Brief History of Flight. From Balloons to Mach 3 and beyond*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2001.

[25]. MILER, J. *Lockheed's Skunk Works, The First Fifty Years*, Aerofax Inc., Arlington, TX, 1993.

[26]. NAYLOR, J.L. and OWEN, E. *Aviation, Its Technical Development*. Vision Press, London, 1965.

[27]. SCHATZBERG, E. *Wings of Wood, Wings of Metal, Culture and Technical Choice in American Airplane Materials*,. Princeton University Press, 1999.

[28]. TAYLOR, J.W.R. and MUNSON, K. *History of Aviation*, New English Library, London, 1975.

[29]. TAYLOR, M.J.H. and MONDEY, D. *Milestones of Flight*, Jane's Publishing Cy., London, 1983.

[30]. TOLAND, J. *The Great Dirigibles, Their Triumphs and Disasters*, Dover Publications, Inc., New York, 1972.

[31]. VARIOUS authors. *Ein Jahrhundert Flugzeuge, Geschichte und Technik des Fliegens*, herausgegeben. Ludwig Bölkow, VDI Verlag, Düsseldorf, 1990.

[32]. WEYL, A.R. *Fokker: The Creative Years*. Putnam, London, 1965.

[33]. WHITFORD, R. *Evolution of the Airliner*. The Crowood Press, Ramsbury, England, 2007.

[34]. WRIGHT, O. *How We Invented the Airplane*, (Editor F. Kelly), Dover Publications, Inc., New York, 1988.

[35]. CLARK, P. *Buying The big Jets.* 2ª Ed. Ashgate Publishing Limited, Great Britain 2007. 258 p. ISBN: 978-0-7546-7090-2.

[36]. POPPER, K. R., *Logik der Forschung* (1934), tr. V. Sánchez de Zavala, *La Lógica de la Investigación Científica*, Tecnos, Madrid, 2008. 576 p. ISBN: 9788430946075

[37]. GARCÍA de la CUESTA, J. *Aviation Terminology – Terminología Aeronáutica,* Diccionario aeronáutico: English/Spanish – Español/Inglés. Ed. Díaz de Santos, S.A. (2011). 1024 p. ISBN: 9788479789961.

[38]. MURILLO Fort, C. y GONZÁLEZ López-Valcárcel, B. *Manual de Econometría.* E-book. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y Universidad Pompeu Fabra (2000).

[39]. PEÑA, Daniel. *Fundamentos de Estadística.* 1ªEd. Alianza Editorial, España 2001. 683 p. ISBN: 84-206-8696-4.

[40]. MOORE, David S., McCABE, George P., y CRAIG, Bruce A. *Introduction to the Practice of Statistics.* 6th Ed. W. H. Freeman Publishers, New York 2009. 1010 p. ISBN-10: 1-4292-1621-2 (Paperback).

≠ Informes

I[1]. Annual Report 1943 - Air Transport Industry – Air Transport Association of America November 1943, p.6.

I[2]. Current Market Outlook 2009 to 2028. Boeing. 2009, p.2.

I[3]. Cir 313- AT/134 - Perspectivas del transporte aéreo hasta el año 2025. OACI 2007, 2-15.

I[4]. Flying smart, thinking big. Global Market Forecast 2009 - 2028. Airbus S.A.S. 2009.

I[5]. Current Market Outlook 2009 - Randy Tinseth Vice President, Marketing Boeing Commercial Airplanes. Boeing. June 2009, p.5.

I[6]. Flying by nature. Global Market Forecast 2007 – 2026. Airbus S.A.S. 2007.

I[7]. Commercial Aircraft Design Characteristics - Trends And Growth Projections. Published by International Industry Working Group (IIWG). January 2007, Fifth Edition (R1).

I[8]. Overview of Recent Forces & Trends in the Airline Industry - Prof. R. John Hansman. MIT-ICAT. February 2008.

I[9]. Quest for Performance The Evolution of Modern Aircraft - Laurence K. Loftin, Jr. National Aeronautics and Space Administration (NASA) - Office of Policy and Plans - History Office. NASA SP–468. NASA Scientific and Technical Information Branch. Washington, D.C. 1985.

I[10]. La Liberalización del Transporte Aéreo – Prof. Alonso Soto, Ricardo. Universidad Autónoma de Madrid. Tribunal de Defensa de la Competencia. Febrero 1998.

I[11]. WATS - World Air Transport Statistics 52th Edition (1999-2008). International Air Transport Association (IATA). Montreal (Canada).

I[12]. DOT FORM 41 – United States of America Department of Transportation (2007). 1200 NEW JERSEY AVENUE, SE - WASHINGTON, DC 20590.

I[13]. Annuals Reports (1937-2012) - Air Transport Industry – Air Transport Association of America – ATA.

I[14]. 2012 Annual Reports - International Air Transport Association – IATA.

I[15]. ELLERMAN, A. Denny y JOSKOW, Paul L. *The European Union's Emissions Trading System in perspective.* Pew Center on Global Climate Change. Massachusetts Institute of Technology, Operations Research Center. May 2008.

I[16]. El Sistema Internacional de Unidades-SI. 8ªEd (2006). Oficina Internacional de Pesas y Medidas. Organización Intergubernamental de la Convención del Metro. 2ª Ed. en español-Centro Español de Metrología. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2008).

≠ Tesis doctorales

T[1]. CHI, Zhihang. *Airline Yield Management in a Dynamic Network Environment.* Bertsimas, Dimitris (Thesis Supervisor). Freund, Robert (Acting Director, Operations Research Center). PhD. Degree. Massachusetts Institute of Technology, Operations Research Center. February 1995.

T[2]. BARTH, Richard R. *Airline Fare Competition: Econometric Evidence of Oligopolistic Coordination.* Rose, Nancy L. (Thesis Supervisor). Barks, Jeffrey A. (Associate Dean, Master's and Bachelors's Programs). Degree MSc. in Management. Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management. February 1990.

T[3]. BOTIMER, Theodore C. *Airline Pricing and Fare Product Differentiation.* Belobaba, Peter P. (Thesis Supervisor). Bernstein, David H. (Chairman of Doctoral Committee) Degree PhD. in Transportation Economics. Massachusetts Institute of Technology, Center for Transportation Studies. February 1994.

T[4]. ISHUTKINA, Mariya A. *Analysis of the Interaction between Air Transportation and Economic Activity: a Worldwide Perspective.* Hansman, John (Thesis Supervisor and chair). PhD. Degree. Massachusetts Institute of Technology, Department of Aeronautics and Astronautics. March 2009.

T[5]. TSOUKALAS, Gerassimos. *Convergence in the US Airline Industry: A Unit Cost and Productivity Analysis.* Belobaba, Peter P. (Thesis Supervisor). Darmofal, David (Chairman of Doctoral Committee) Degree MSc. in Aeronautics and Astronautics. Massachusetts Institute of Technology, Department of Aeronautics and Astronautics. September 2007.

T[6]. OSPINA MOSQUERA, Norma C. *La Política comunitaria del cielo único europeo: Reflexiones sobre su impacto en el principio de soberanía. Repercusiones en la política de liberalización del transporte aéreo. Principios y mecanismos de estructuración.* Dr. Parejo Alfonso, Luciano (Director de Tesis). Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Derecho Público del Estado. Getafe, Octubre 2005.

T[7]. WILLIAMSON, Elizabeth Louise. *Airline Network Seat Inventory Control: Methodologies and Revenue Impacts.* Belobaba, Peter P. (Thesis Supervisor). Harold Y. Wachman (Chairman of Doctoral Committee) Degree PhD. in Flight Transportation and Operations Research. Massachusetts Institute of Technology, Department of Aeronautics and Astronautics. June 1992.

≠ Artículos en Revistas

R[1]. SWAN, William M., ADLER, Nicole. *Aircraft trip cost parameters: A function of stage length and seat capacity.* Transportation Research. Part E 42, (2006), p.105-115. Elsevier Ltd.

R[2]. RANDOLPH, Justus J. *A Guide to Writing the Dissertation Literature Review.* Practical Assessment Research & Evaluation. Vol.14, Nº 13, (Junio 2009). ISSN 1531-7714

R[3]. Boote, D. N., & Beile, P. (2004, April). *The quality of dissertation literature reviews: A missing link in research preparation.* Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Diego, CA.

R[4]. Boote, D. N., & Beile, P. (2005). *Scholars before researchers: On the centrality of the dissertation literature review in research preparation.* Educational Researcher, 34(6), 3-15.

R[5]. Cooper, H. M., (1984). *The integrative research review: A systematic approach.* Applied social research methods series (Vol. 2). Beverly Hills, CA: Sage.

R[6]. Cooper, H. M. (1988). Organizing knowledge synthesis: A taxonomy of literature reviews. *Knowledge in Society*, 1, 104-126.

R[7]. Cooper, H., & Hedges, L. V. (1994b). Research synthesis as a scientific enterprise. In H. Cooper & L.V. Hedges (Eds.), *The handbook of research synthesis* (pp. 3-14). New York: Sage.

R[8]. Hart, C. (1998). *Doing a literature review: Releasing the social science research imagination.* London: Sage.

R[9]. Gall, M. D., Borg, W. R., & Gall, J. P. (1996). *Education research: An introduction* (6th ed.). White Plains, NY: Longman.

R[10]. V. de Boer, S., Freling, R. y Piersma, N. *—Mathematical programming for network revenue management revisited".* European Journal of Operational Research. Volume 137, Issue 1, 16 February 2002, Pages 72–92. Elsevier Ltd.

R[11]. Sickles, Robin C. *—Anonlinear multivariate error components analysis of technology and specific factor productivity growth with an application to the U.S. Airlines".* Journal of Econometrics. Volume 27, Issue 1, January 1985, Pages 61–78. Elsevier Ltd.

≠ Páginas web

E[1]. *Discurso de Steve Jobs en la Universidad de Stanford durante la apertura del curso de 2005* • Subtítulos en español por http://www.recursosparapymes.com • Categ.: Gente y blogs • Lic.: YouTube • http://www.youtube.com/watch?v=6zlHAiddNUY

E[2]. Research and Innovative Technology Administration (RITA) • U.S. Department of Transportation (US DOT) • *Multimodal Transportation Indicators.* Other Federal Sources of Data – Oct 2012. http://www.bts.gov/publications/multimodal_transportation_indicators/

E[3]. Research and Innovative Technology Administration (RITA) • U.S. Department of Transportation (US DOT) • *Impacts of Productivity Changes in Air Transportation on Profits, Prices, and Labor Compensation: 1990–2001*. Apostolides, A. D. Journal of Transportation and Statistics. Volume: 9. Number: 1. http://www.bts.gov/publications/journal_of_transportation_and_statistics/volume_09_number_01/html/paper_01/index.html

E[4]. Research and Innovative Technology Administration (RITA) • U.S. Department of Transportation (US DOT) • *Air Travel Price Index – (ATPI)*. Bureau of Transportation Statistics (BTS) • http://www.bts.gov/xml/atpi/src/datadisp.xml?t=1

E[5]. Research and Innovative Technology Administration (RITA) • U.S. Department of Transportation (US DOT) • *Transportation Services Index (TSI)*. Bureau of Transportation Statistics (BTS) • http://www.bts.gov/xml/tsi/src/index.xml

E[6]. Research and Innovative Technology Administration (RITA) • U.S. Department of Transportation (US DOT) • *Airline Industry Employment*. Bureau of Transportation Statistics (BTS) • http://www.transtats.bts.gov/Employment/

E[7]. Research and Innovative Technology Administration (RITA) • U.S. Department of Transportation (US DOT) • *Database Name: Air Carrier Statistics (Form 41 Traffic) - U.S. Carriers*. Bureau of Transportation Statistics (BTS) • http://www.transtats.bts.gov/Tables.asp?DB_ID=110&DB_Name=Air%20Carrier%20Statistics%20%28Form%2041%20Traffic%29-%20%20U.S.%20Carriers&DB_Short_Name=Air%20Carriers

E[8]. Research and Innovative Technology Administration (RITA) • U.S. Department of Transportation (US DOT) • *Database Name: Air Carrier Statistics (Form 41 Traffic) - All Carriers*. Bureau of Transportation Statistics (BTS) • http://www.transtats.bts.gov/Tables.asp?DB_ID=111&DB_Name=Air%20Carrier%20Statistics%20%28Form%2041%20Traffic%29-%20All%20Carriers&DB_Short_Name=Air%20Carriers

E[9]. Research and Innovative Technology Administration (RITA) • U.S. Department of Transportation (US DOT) • *Database Name: Air Carrier Financial Reports (Form 41 Financial Data)*. Bureau of Transportation Statistics (BTS) • http://www.transtats.bts.gov/Tables.asp?DB_ID=135&DB_Name=Air%20Carrier%20Financial%20Reports%20%28Form%2041%20Financial%20Data%29&DB_Short_Name=Air%20Carrier%20Financial

E[10]. Pratt & Whitney • Commercial engines • http://www.pw.utc.com/Commercial_Engines

E[11]. Rolls-Royce • Civil Aerospace • http://www.rolls-royce.com/civil/products/

E[12]. General Electric Aviation • GE Aviation • Commercial engines • http://www.geaviation.com/engines/commercial/

E[13]. CFM • Aeroengines • http://www.cfmaeroengines.com/engines

E[14]. IAE • International Aero Engines • AG • http://www.cfmaeroengines.com/engines

E[15]. Letralia: Tierra de letras. La revista de los escritores hispanoamericanos en internet. SCHMUCKE P, Miguel A. –No todos los cuervos son negros". http://www.letralia.com/146/ensayo03.htm

E[16]. Olimpiadas Nacionales de Contenidos Educativos en Internet. Arquitectura de Aeronaves. http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/buenos_aires/62/tecnolog/estruc.htm

E[17]. Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation. FAA Home ▸ Data & Research ▸ Aviation Data & Statistics. http://www.faa.gov/data_research/aviation_data_statistics/

E[18]. Research and Innovative Technology Administration (RITA) • U.S. Department of Transportation (US DOT) • *Airlines and Airports Statistics*. http://www.rita.dot.gov/bts/data_and_statistics/index.html

E[19]. Planespotters • *Airlines Fleets*. http://www.planespotters.net/Airline/

E[20]. Boeing Company website • http://www.boeing.com/boeing/commercial/787family/

E[21]. Airbus S.A.S. website• http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a320family/spotlight-on-a320neo/

ANEXOS

Siglas y Acrónimos.

Son numerosas las siglas y acrónimos utilizadas en la tesis. En este apartado se relacionan con su significado y por orden alfabético las más utilizadas. Tanto éstos como el resto de términos habituales en el transporte aéreo, incluidos o no en la tesis, se pueden encontrar en la segunda parte del anexo titulada Key Passenger Glossary of Terms publicado por la Asociación Internacional del Transporte Aéreo (IATA).

Sigla	Significado
ASK	Available Seat Kilometers
ASM	Available Seat Miles
ATA	Air Transport Association
ATPI	Air Travel Price Index
ATM	Average Trip Miles
BTS	Bureau of Transportation Statistics
CASM	Cost Available Seat Miles
DOT	Department Of Transportation
FIV	Factor de Inflación de la Varianza
FMI	Fondo Monetario Internacional
GDP	Gross Domestic Product
IATA	International Air Transport Association

Sigla	Significado
ICAO	International Civil Aviation Organization
KPI	Key Performances Indicators
LCC	Low Cost Carrier
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MLW	Maximum Landing Weight
MRW	Maximum Ramp Weight
MTOW	Maximum Take Off Weight
MZFW	Maximum Zero Fuel Weight
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OACI	Organización de la Aviación Civil Internacional
OAG	Official Airline Guide
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OEW	Operating Empty Weight
OFTL	On-Flight Trip Length
PRASM	Passenger Revenues per Available Seat Miles
RASM	Revenues Available Seat Miles
RITA	Research and Innovative Technology Administration
RPM	Revenues Passenger Miles
RPK	Revenues Passenger Kilometers
TPI	Transport Services Index
TRASM	Total Revenues per Available Seat Miles
VLA	Very Large Aircraft
WATS	World Air Transport Statistics

Key Passenger Glossary of Terms - IATA.

TERM	DEFINITION	CONTEXT	SOURCE (all references to IATA are for 2007 manuals)	SOURCE SUB INFO
ABP	See "Advance Boarding Pass".		New	
ACARS	See "Aircraft Communication Addressing and Reporting System".		New	
Access key	Key used by the actioning system to make processing decisions, e.g., agreement table index.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Accompanied	When used for children and infant fares, this shall mean the child/infant must be accompanied by an adult paying an applicable adult fare or traveling at industry free or reduced fare tickets	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Accountable Document	As defined and used by IATA in the IATA PSCRM Resolutions Manual: "A paper ticket, electronic ticket, paper miscellaneous charges order (MCO), electronic miscellaneous document (EMD) or any other Accountable Passenger Traffic Document, whether issued or not." For further clarification of the definition, Accountable Documents includes those documents that are identified in IATA Recommended Practice 1720a Standard Thirteen-Digit Numbering System for Traffic Documents. Other names: Accountable Traffic Document, Accountable Passenger Traffic Document, Traffic Document.	Passenger	New	
ACI	See "Airports Council International".		New	
Ack	A general term used to indicate that a message is acknowledged. Whether or not the message has been successfully processed is dependent on the application.	Messaging	New	
ACK	A sub-message in ASM/SSMs advising the sender that the message content has been accepted by the receiving system and has been successfully processed (acknowledged).	Schedules	New	
Ad Hoc Schedule	A variation, addition or cancellation from the basic schedule of one or more flights on single dates.	Schedules	IATA SSIM	
Add-On	An amount used only to construct an unspecified through fare.	Tariff	IATA PSCRM	RP1008
Add-On	An amount used only to construct an unspecified through fare.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Add-on Commission	A standard commission paid to a travel agency for each booking.	Tariff	New	

ADL	Additions and Deletions List as defined in IATA Reso 1708. List of passengers and related data sent from a Reservations system to a Departure Control system for a flight/date, subsequent to the PNL.	Departure	PSCRMR	
Administrating Carrier	The airline that has the financial and commercial responsibility of a flight and that may or may not be the Operating Carrier.	Schedules	IATA SSIM	
Adult	For Tariff purposes, a person who has reached his/her 12th birthday as of the date of commencement of travel	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Advance Boarding Pass	Term used for a process that allows the issuance of a boarding pass in advance of flight departure. Generally, this is prior to the last 24 hours prior to scheduled flight departure.	Passenger	New	
Advance Passenger Information	See "APIS".		New	
Advance Passenger Information System	See "APIS".		New	
Advance Seat Reservation	Term used for a process that allows a specific seat to be booked in advance of departure, e.g., when the reservation was originally booked.	Passenger	New	
AEA	See "Association of European Airlines".		New	
Aeronautical Fixed Telecommunication Network	The Aeronautical Fixed Telecommunication Network (AFTN) is a worldwide system of aeronautical fixed circuits provided, as part of the Aeronautical Fixed Service, for the exchange of messages and/or digital data between aeronautical fixed stations having the same or compatible communications characteristics. The network is used to exchange vital aircraft operational information such as distress/urgent messages, safety and meteorological information.		New	
Africa	Comprises Central Africa, Eastern Africa, Indian Ocean Islands, Libya, Southern Africa, Western Africa	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
AFTN	See "Aeronautical Fixed Telecommunication Network".		New	
Agency	General term referring to a travel agency. The agency may or may not be accredited. See "Travel agency" for additional information.		New	
Agent	Any person who interacts with the system to facilitate airline operational activities. Depending on business process area, agents may interact directly with customers (reservations, ticket counter and gate agents) or may operate in a back-office environment (load planning, schedules & inventory.)	All	New	
Agent	User of a computer system. This generic term includes both retail travel agents and the staff of airlines' own reservations, ticket, airport personnel or their handler.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
AHC	IATA Airport Handling Committee.	Airport	IATA SSIM	
AHM	See "Airport Handling Manual".		New	
AIDX	See "Aviation Information Data Exchange".		New	
Air Operator's Certificate	An Air Operator's Certificate (AOC) is the approval granted from the National Airworthiness Authority (NAA) to an aircraft operator to allow them to use their aircraft for commercial purposes (payment or reward).		New	
Air Transport Association	The Air Transport Association of America, Inc. (ATA) is the U.S."s oldest and largest airline trade association, representing the U.S."s leading airlines. It has played a major role in all the significant government decisions regarding aviation, including the creation of the Civil Aeronautics Board and the Federal Aviation Administration, the creation of the air traffic control system, airline deregulation, and air safety.		New	

Air Waybill	The document entitled Air Waybill/Air Consignment Note made out by or on behalf of the shipper which evidences the contract between the shipper and carrier(s) for carriage of goods over routes of the carrier(s).	Cargo	New	
Aircraft	A transport vehicle which is certified as airworthy by a competent aeronautical authority. As used herein, the definition may include surface vehicles, the bookings and traffic handling for which are dealt with in a similar manner to that used for aircraft, e.g., rail or ferry.	All	IATA SSIM	
Aircraft Communications Addressing and Reporting System.	Aircraft Communications Addressing and Reporting System (ACARS) is a digital datalink system for transmission of short, relatively simple messages between aircraft and ground stations via radio or satellite.		New	
Aircraft Configuration	Planned utilization layout of aircraft interior space.	Schedule	IATA SSIM	
Aircraft Configuration	Planned utilization layout of aircraft interior space. It may identify the space by compartment and/or Reservation Booking Designator (RBD).	Res,DCS	New	
AIRIMP	ATA/IATA Reservations Interline Message Procedures — Passenger (ATA/IATA). A guide to teletype message formats and rules that govern transmission circumstances for reservation functions.	Schedule	IATA SSIM	
AIRIMP	ATA/IATA Reservations Interline Message Procedures — Passenger (ATA/IATA). A guide to teletype message formats and rules that govern transmission circumstances for reservation type functions.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
AIRIMP	The ATA/IATA Reservations Interline Message Procedures. AIRIMP is the mandatory multilateral data exchange standard for interline communications for passenger reservations. A guide to teletype messages formats and rules that govern transmission circumstances for reservation type functions.	All	New	
Airline	See also definitions listed under "carrier ...".		New	
Airline Accounting Code	It is used as the first three digits of a passenger traffic document, e.g., ticket. This identifies the document as being issued by or on behalf of an airline or non-airline company other than a CRS. This code is assigned by IATA.		IATA PSCRM	Reso767
Airline Code	See "Airline Designators (IATA)" and "Airline Designators (ICAO)".		New	
Airline Designators (IATA)	IATA airline designators are two or three character codes assigned by the International Air Transport Association (IATA). Designators are used to identify an airline for all commercial purposes, including reservations, timetables, tickets, tariffs, air waybills and in airline interline telecommunications. In the case of two-character designators, they may consist of two alpha characters, one alpha with one numeric, or one numeric with one alpha. In the case of CRS Suppliers, they may only consist of one numeric (number “1” only) and one alpha. In the case of three-character designators, they must always contain three alpha characters.		IATA PSCRM	Reso766

Airline Designators (ICAO)	The ICAO airline designator is a code assigned by the International Civil Aviation Organization (ICAO) to aircraft operating agencies, aeronautical authorities and services. The codes are unique by airline. Each aircraft operating agency, aeronautical authority and services related to international aviation is allocated both a three-alpha designator and a telephony designator.		New	
Airline Prefix	It is used as the first three digits of a cargo traffic document number, e.g., airway bill. This identifies the document as being issued by or on behalf of an airline. This code is assigned by IATA.		IATA PSCRM	Reso767
Airline Reservation System (ARS)	A computerized system containing information about schedules, availability, fares and related services, and through which airline inventory is maintained, reservations can be made and/or tickets issued. Typically, only airline offices (ATO, CTO, CRC, etc) or their General Sales Agents (GSAs) utilize the ARS. See "Airline System".		New	
Airline Service Supplier	An organization which provides a computerized airline data processing service.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Airline System	Computer system maintained by an airline or group of airlines, which holds one or more of the following facilities for an airline: 1) reservations, 2) schedules, 3) inventory, 4) check-in and/or 5) weight and balance. See "Airline Reservation System".	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Airline Tariff Publishing Company	A commercial company dealing in the collection and distribution of fares and fare-related data for the airline and travel industry.		New	
Airline Ticketing Scheme	A system that issues tickets bearing a pre-printed three-digit airline identification as specified in the IATA Airline Coding Directory.		New	
Airline, Carrying	A party whose routes a passenger and his baggage are transported or are to be transported.		IATA PSCRM	Reso 780
Airline, Delivering	The airline over whose routes a passenger and his baggage are transported or are to be transported from the point of origin or stopover or a transfer poing, to the nexter interline connection point.		IATA PSCRM	Reso 780
Airline, Issuing	See “Carrier, Issuing”.		IATA PSCRM	RP1008
Airline, Originating	The airline upon whose services the interline transportation of a passenger and his baggage either commences at the original place of departure or continues from place of stopover.		IATA PSCRM	Reso 780
Airlines Reporting Corporation	Airlines Reporting Corporation (ARC) provides of sales and settlement solutions for the travel and hospitality industry. It operates primarily in the North American and Caribbean markets.		New	
Airport	Point of departure or arrival for a flight. Commonly represented by a three letter IATA/ATA code; may or may not be the same as the code for its associated city. See "Location Identifier".	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Airport Handling Manual	The manual was developed under the auspices of IATA over a period of 30 years and the standards represent the most practical basic airport handling procedures for passengers and their baggage, cargo, and mail.		New	
Airport Operational Database	An Airport Operational Database is a database containing the information necessary to control and provide services at an airport.		New	
Airport Terminal	All building used for arrival and departure handling of aircraft. For multiple terminal airports, the terminal identification used for a flight. An individual airline will operate flights into/out of specific terminals in a multiple terminal airport.		New	

Airport Terminal	All buildings used for arrival and departure handling of aircraft.		IATA AHM	810
Airport Terminal Information Systems	Automated Terminal Information System is a service that provides continuous broadcast of airport information and is commonly found at tower-controlled airports. It usually includes weather information, runways in use, and other important information/notices.		New	
Airports Council Internationl	The international association of the world's airports. ACI fosters cooperation among its member airports and with other partners in world aviation.	Airports	New	
ALI	Abbreviated Load Information Message. See IATA AHM 584.		New	
All-Cargo Aircraft	A version of an aircraft type which carries cargo and mail only.		IATA SSIM	
Alliance	Three or more airlines participating in a commercial relationship or joint venture, where (i) a joint and commonly identifiable product is marketed under a single commercial name or brand; and (ii) this commercial name or brand is promoted to the public through the airlines participating in the alliance and its agents; and (iii) the commercial name or brand is used to identify the alliance services at airports and other service delivery points.		IATA PSCRM	RP1008
Allowance, Free Baggage	The baggage which may be carried without payment of a charge in addition to the fare.		IATA PSCRM	RP1008
Allowed Takeoff Weight	This is the minimum of the following: 1. MZFW + TOF Referred to as Zero Fuel Weight Limited 2. MTOW Referred to as Takeoff Weight Limited 3. MLAW - Trip Fuel Referred to as Landing Weight Limited		New	
Alternative Reservation	A definite reservation covering space on flight other than one originally preferred by passenger.		IATA PSCRM	Reso766
AOC	See "Air Operator's Certificate".		New	
AODB	See "Airport Operational DataBase".		New	
APEX	Advance Purchase Excursion Fares		IATA Tariff	Reso 012
API	See "Advance Passenger Information System".		New	
APIS	Advance Passenger Information System. An EDIFACT batch message (PAXLST) developed to provide government officers with pre-arrival and departure manifest data on all passengers and crew members. The message contains selected information for each passenger or crew member and this information is called "Advance Passenger Information". This message is used by many countries. See "PAXLST".		New	
AQQ	APIS Quick Query. Interface specified by the U.S. Customs and Border Protection (CBP) for the interactive transmission of APIS data. This enables the U.S. CBP to instruct airlines not to board passengers who fail security checks. It is expected that this process will be used by more than the US government.		New	
ARC	See "Airlines Reporting Corporation".		New	
Archive	Data resides outside the online system and can be retrieved via batch or other processes.		New	
ARINC	Aeronautical Radio Incorporated. This company provides telecommunications services similar to SITA.		IATA SSIM	
ARM	The horizontal distance from the reference datum to the center of gravity of an item.		New	
ARNK	Arrival unknown or via means other than scheduled		New	

	air service. Used in reservations to fill a gap in the itinerary.			
Arrange (or make arrangements for)	This term implies that the Handling Company may request an outside agency to perform the service in question. The charge of the outside agency shall be paid by the Carrier. The Handling Company assumes no liability toward the Carrier for such arrangements.		IATA AHM	810
ARS	See "Airline Reservation System".		New	
As Mutually Agreed,by Mutual Agreement or by the Carrier's Request	It is recommended that, whenever this terminology is used, such items be supported by specific documentation or reference.		IATA AHM	810
ASC	Advise of Schedule Change. AIRIMP teletype message identifier used in reservations messages when advising a booking entity of schedule change information.		New	
ASM	Ad hoc Schedule Message as defined in Chapter 5 of the IATA Standard Schedule Information Manual (IATA SSIM). Ad Hoc Schedules Message (ASM) is an interline teletype message for the transmission of a deviation from the basic schedule, such as an addition of a supplementary or an extra flight, change to a single operation of an existing flight in routing, timing, equipment or other data and cancellation of a flight. The ASM applies to long term ad hoc modifications of schedules (generally resulting from schedules or operational planning) as well as short term operational decisions which affect flight schedules.		New	
ASR	See "Advance Seat Reservation".		New	
Assembly Point	A point in the travel itinerary where an entire qualifying group of passengers assemble and commence transportation as a group.		IATA Tariff	Reso 012
Assigned Seat	Assigned seats refer to specific seats that are designated as one of the following: „allocated", „allotted", „blocked", „blocked transit", „reserved", and „last to be used".		New	
Association of European Airlines	The Association of European Airlines (AEA) primary mission is to work with its members and the aviation industry to ensure the sustainable growth of the European airline industry.		New	
ATA	See "Air Transport Association".		IATA SSIM	
ATB	Automatic Ticket and Boarding Pass. Machine-readable single document which combines the functions of two documents.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
ATD	Actual departure time defined by the carrier procedures as wheels up, chocks off, or brakes off. Governments need to identify one of these definitions for purposes of data transmission.		New	
ATI	Air Transport Industry		New	
ATIS	See "Airport Terminal Information Systems".		New	
ATOW	See "Allowed Takeoff Weight".		New	
ATPCO	See "Airline Tariff Publishing Company".		New	
Automated Immigration Systems	Automated Immigration Systems are comprised of an automated gate system for providing fast-track lanes that can be used by pre-cleared individuals whose identity is confirmed by comparing their live biometric with a biometric stored on a database or biometric credential.		New	
Automated Ticket	A form of Passenger Ticket and Baggage Check designed for issue in various printing devices for which data is computer generated. “AUTOMATED TICKET/BOARDING PASS (ATB)” is the form of automated ticket and boarding pass described in		IATA PSCRM	RP1008

	Resolutions 722c and 722d. It is a single copy non-carbonized ticket (normally on card stock) with each coupon imprinted separately. Each coupon used for air transport is comprised of a flight coupon and a detachable passenger coupon and boarding pass for a specific flight. One coupon is issued as the passenger receipt which together with all passenger coupons and boarding passes builds up the passenger copy of the passenger ticket and baggage check.			
Automated Ticketing Services Agreement	An agreement between air carriers which permits the System of a Servicing Airline to issue Neutral Tickets on behalf of itself and a number of other Air Carriers.		IATA PSCRM	RP1008
Auxiliary Service Operator	A term used to designate a vendor who provides desired services and/or accommodations needed by the passenger in conjunction with airline space, e.g., car and hotel.		IATA PSCRM	Reso766
AVA	Based on bilateral agreement used to provide numeric availability status for code share flights. This is used between code share partners. See AIRIMP for details.		New	
Availability	A display of routings inclusive of inventory status, AVS status and flight attributes, e.g., time, equipment, etc.		New	
Availability	The process of conveying information on the availability of seats that may be sold by an agent. This information may contain inventory status, time, number of stops, etc.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Availability Cache	See "Cached Flight Availability".		New	
Availability Display	A listing of one or more flights which gives availability information. This information may include, though not be limited to, flight timings, routings, class codes, meal codes and service information.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Aviation Information Data Exchange	Airlines send realtime updated flight information to an airports for flights in the current operational window. The information may be used by the airport for multiple purposes such as updating of a Flight Information Display System (FIDS), Resource Management System (RMS), or Baggage Handling Systems (BHS). IATA XML schemas have been developed to convey information such as flight times, airport resources used by the flight, flight status and code share information.		New	
AVN	Based on bilateral agreement, may be used in lieu of the AVS message identifier for numeric AVS. See AIRIMP for full definition of formats.		New	
AVO	Based on bilateral agreement, may be used to provide enhanced AVS with O&D control information. See AIRIMP for full definition of formats.		New	
AVR	Based on bilateral agreement used to provide numeric availability status for code share flights. This is used between code share partners. See AIRIMP for details.		New	
AVS	Availability status message sent on a bilateral basis from an airline to their partner systems. This message is used to provide inventory status to the other systems. It may either be status code basis such as AS and CR or it may be numeric providing the number of seats. Message formats are defined in AIRIMP.		New	

AVS	Availability Status Messages which are bilaterally exchanged between reservations systems to enable accurate status of flight availability. The messages are transmitted in industry-standard AIRIMP formats, usually by teletype, but sometimes by direct links between systems. Typically, the status codes are two alpha codes indicating the status of seats available for sell on a flight/class/date/segment or flight/class/date, e.g., AS for "flight open for automatic selling" and CL for "flight closed - waitlist open". The status may also be numeric providing the number of seats. See Numeric AVS for further definition.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Award RBDs	Classes on a flight used solely for booking passengers redeeming frequent flyer points or credits.		New	
Baggage	Equivalent to the term "Luggage". Articles, effects and other personal property of a passenger as are necessary or appropriate for wear, use, comfort or convenience in connection with his trip. Unless otherwise specified, it includes both checked and unchecked baggage.		IATA PSCRM	RP1008
Baggage Check	Those portions of the ticket or baggage tag which provide for the carriage of passenger"s checked baggage and which are issued by carrier as a receipt for passenger"s checked baggage.		IATA PSCRM	RP1008
Baggage Mishandled	Baggage which is damaged, delayed, lost or pilfered.		IATA PSCRM	Reso780
Baggage Tag	A document issued by carrier solely for identification of checked baggage, the baggage (strap) tag portion of which is attached by carrier to a particular article of checked baggage and the baggage (identification) tag portion of which is given to the passenger.		IATA PSCRM	RP1008
Baggage Tag Issuer Code	This code combined with the tag serial number are used to identify each piece of checked luggage through all baggage handling processes. It is a three numeric identifier assigned by IATA. The code is generally referred to as the BTIC.		IATA PSCRM	Reso769
Baggage Transfer	Baggage arriving at a point on one flight and continuing its journey on another flight within a defined time limit.		New	
Baggage, Cabin	See "Baggage, Unchecked".		New	
Baggage, Carry-on	See "Baggage, Unchecked".		New	
Baggage, Checked	Equivalent to "Luggage, Registered". Baggage of which the carrier takes sole custody and for which carrier has issued a baggage check.		IATA PSCRM	RP1008
Baggage, Damage	Physical damage to baggage and/or its contents.		IATA PSCRM	Reso780
Baggage, Delay	A piece(s) of baggage which fails to arrive at the airport of destination on the same flight as the passenger, but is subsequently delivered.		IATA PSCRM	Reso780
Baggage, Excess	That part of baggage which is in excess of the baggage which may be carried free of charge.		IATA PSCRM	RP1008
Baggage, Interline	Checked baggage to be transported over the lines of two or more parties.		IATA PSCRM	Reso 780
Baggage, Loss	A piece(s) of baggage which is irretrievably lost.		IATA PSCRM	Reso 780
Baggage, Pilferage/ shortage	Items are reported or known to be missing from a piece(s) of baggage.		IATA PSCRM	Reso 780
Baggage, Unchecked	Baggage which is retained in the custody of the passenger.		IATA PSCRM	RP1008

Banding	A technique to assign a unique seven-character airline teletype address without the need to assign a unique two-character airline designator to the user. In banding, the first three positions are the location identifier assigned under Resolution 763, the fourth and fifth positions are a unique two-character designator and the sixth and seventh positions are a two-character commercial designator assigned collectively to all the users of a banded designator. Banded designators for non-scheduled air transportation are X2 and X6, as defined in Resolution 762, paragraph 6.1(m).		IATA PSCRM	RP1008
Bankers Buying Rate (BBR)	The rate at which, for the purpose of the transfer of funds through banking channels (i.e. other than transactions in bank notes, travellers cheques and similar banking instruments), a bank will purchase a given amount of foreign currency in exchange for one unit (or units) of the national currency of the country in which the exchange transaction takes place		IATA Tariff	Reso 012
Bankers Selling Rate (BSR)	The rate at which, for the purpose of the transfer of funds through banking channels (i.e. other than transactions in bank notes, travellers cheques and similar banking instruments), a bank will sell a given amount of foreign currency in exchange for one unit (or units) of the national currency of the country in which the exchange transaction takes place		IATA Tariff	Reso 012
Bar Code	A machine readable coding system using black lines of various thickness, alternating with blank spaces applied in optical systems to control reading or represent characters.		IATA PSCRM	RP1008
Bar Code Area	The area where the bar coded document number is printed.		IATA PSCRM	RP1008
Bar Code, 1D	A machine readable coding system using a one dimensional pattern of black lines of various thickness, alternating with blank spaces applied in optical systems to control reading. The 1D image represents encoded characters.		IATA PSCRM	RP1008
Bar Code, 2D	A machine readable coding system using two dimensional pattern of black and blank spaces applied in optical systems to control reading. The 2D image represents encoded characters.		New	
Basic Index	A numerical expression of the centre of gravity of the aircraft at its basic weight.		New	
Basic Schedule	The planned regularly operated flights of an airline.		IATA SSIM	
Berth	Sleeping accommodation as one of the following: (a) a permanent, built-in, full length bunk; or (b) sleeping accommodation converted from normal day time sitting accommodation which for each berth either requires more than one seat or renders more than one seat unusable.		IATA PSCRM	RP1008
BGR	Boarding Gate Reader		New	
BI	See "Basic Index".		New	
Bilateral Agreement	An agreement between two trading entities (airlines, GDSs, suppliers, States, etc.) to either send/receive data and/or process data in specified manner.		New	
Billing and Settlement Plan	Method of providing and issuing traffic documents and of accounting and settling accounts between airlines and Travel Agents. Generally, referred to as BSP.		IATA PSCRM	RP1008

Biometrics	Biometrics are any means by which a person can be uniquely identified by evaluating one or more distinguishing biological traits. Unique identifiers include fingerprints, hand geometry, iris, retina, hand vein geometry, voice waves, DNA, and signatures.		New	
Biometrics Credentialing	Biometric credentialing is the creation and management of secure, personalized biometric credentials, such as smartcards.		New	
Biometrics Enrollment	Biometric Enrollment is the capture, quality assessment and vetting of biometric and biographic data.		New	
Blind Sale	Specialized selling function by which one system may request space on a flight whose inventory is held in another system, without specifying the flight details which are normally required. Typically this takes the form of requesting space on the first available flight between a specified board and off point.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Block Fuel	Weight of total amount of fuel on board before starting taxi. It is the sum of taxi fuel, trip fuel, and reserve fuel.		New	
Block Space	A number of seats available for sale reduced to allocate seats for mail, cargo, company material, or to sub-assign the control of seats (e.g., sub-assign to a code share partner).		New	
Block Space	An allocation of inventory for sale made available to a third party (e.g., carrier and/or wholesaler). This inventory can be used for mail, cargo, company material, codeshare partner agreements, etc.		New	
Board Point	Station of embarkation. City or airport at which travel on a particular flight commences. Also the point at which a passenger is scheduled to embark on a flight of the boarding Member.		IATA PADIS 07.1	
Board Point	Station of embarkation. City or airport at which travel on a particular flight commences. Also the point at which a passenger is scheduled to embark on a flight of the boarding Member.		IATA SSIM	
Boarding Member	The Member on whose flight a passenger is to be carried from a boarding point.		IATA PSCRM	Reso766
Boarding Pass	Document issued to a passenger to enable access to an aircraft. These may be issued at airports by Airports Council International (ACI) or Departure Control Systems (DCS), in advance by travel agencies or airlines, or by other means such as kiosks, internet or mobile devices. Industry standards control the content and format of a boarding pass.	All	IATA PADIS 07.1	
Boarding Point	See "Board Point".		IATA PSCRM	Reso766
Booking	Action of reserving space on a flight for a passenger, e.g., inventory space or physical seat. See "Reservation".	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Booking	See “Reservation”.	Passenger	IATA PSCRM	RP1008
Booking	See “Reservation”.		IATA SSIM	
Booking Member	The Member with which the passenger made his original reservations or with which additional reservations were made after commencement of the journey. Where a booking is made with, or through, or is handed over to a CRS, the CRS will be considered as the “Booking Member”.		IATA PSCRM	Reso766
Booking or Reservation	See "Reservation".		IATA PSCRM	Reso766

Booking Type	The different types of passenger bookings that can be created, e.g., normal booking, block space booking, or group booking.		New	
BPP	Boarding Pass Printer		New	
BSP	See "Billing and Settlement Plan".		New	
BTIC	See "Baggage Tag Issuer Code"		IATA PSCRM	Reso769
Budget Fare	Special economy restricted fare	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Bulkhead	A rigid partition in the aircraft.		IATA SSIM	
Bull"s Eye	The character used in conjunction with an OCR document number on audit coupons to identify the 13-digit numbering scheme as opposed to the 12-digit scheme.		IATA PSCRM	RP1008
Business	A series of structured commercial activities or processes each having a clearly understood purpose, involving more that one party and directed toward some collectively defined goal, extending over a period of time. In particular, it is not limited to trade or commerce.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Business Days	In the context of Airport Coordination/Advice Procedures, business days refers to business days in the country of the message originator.	Schedules	IATA SSIM	
Cabin	A compartment where passenger seats are installed. More than one RBD may be assigned to a cabin for sale. Often the terms "cabin" and "compartment" are used interchangeably.		IATA SSIM	
Cabin Baggage	Baggage of which the passenger retains custody (also known as hand or unchecked). See "Baggage, Unchecked".		New	
Cached Flight Availability	Cached availability is a database of saved availability on a Members" flights for a pre-designated length of time and/or degree of accuracy. This database is stored in an external entity"s system (e.g. GDS, online subscriber, direct connect provider, agency). A cache may be used in place of availability queries only when bilaterally agreed.		IATA PSCRM	RP1008
CAL	See "PAL".		IATA PSCRM	RP1707b RP1708
Cancel	A function which removes previously reserved seats from a booking and the space is returned to the inventory of the airline system.		IATA PADIS 07.1	
Cancel Itinerary	Function provided in most reservation systems to enable an agent to cancel all the non-flown segments in a PNR in a single command.		IATA PADIS 07.1	
Cargo	Any goods carried on an aircraft and covered by an air waybill.		IATA SSIM	
Cargo	Includes the Carrier's service cargo and company mail.		IATA AHM	810
Carriage	Equivalent to the term "Transportation", means carriage of passengers and/or baggage by air, gratuitously or for hire.		IATA PSCRM	RP1008
Carriage, International	Except for the purpose of the Warsaw Convention or the Montreal Convention, carriage in which, according to the contract of carriage, the place of departure and any place of landing are situated in more than one State. As used in this definition, the term "State" includes all territory subject to the sovereignty, suzerainty, mandate, authority or trusteeship thereof.		IATA PSCRM	RP1008

Carrier	Includes the air carrier issuing the ticket and all air carriers that carry or undertake to carry the passenger and/or his baggage or to perform any other services related to such air carriage. The term "airline" is also used for carrier. See also definitions under "airline...".		IATA PSCRM	RP1008
Carrier, First	The participating carrier over whose air routes the first section of carriage under the Ticket is undertaken or performed.		IATA PSCRM	RP1008
Carrier, Forwarding	The carrier responsible for the condition which creates a need for involuntary change in the passenger"s journey; on missed connections the carrier on whose flight a passenger is originally ticketed to be carried to a connection point is the forwarding carrier (see Resolution 735d).		IATA PSCRM	RP1008
Carrier, Issuing	Equivalent to "Airline, Issuing". The carrier whose air waybill or ticket is issued (see Resolution 780).		IATA PSCRM	RP1008
Carrier, Last	The participating carrier over whose air routes the last section of carriage under the Ticket is undertaken or performed.		IATA PSCRM	RP1008
Carrier, Marketing	See "Marketing Carrier".		New	
Carrier, New Receiving	A new carrying carrier selected for onward carriage by the forwarding carrier from the point where involuntary change of routing becomes necessary (see Resolution 735d).		IATA PSCRM	RP1008
Carrier, Operating	See "Operating Carrier".		New	
Carrier, Operating	The Carrier that holds the Air Operator's Certificate for the aircraft used for that flight. The airline actually providing carriage or other services incidental to such air carriage. The Operating Carrier may be different from the Marketing Carrier in situations where bilateral agreements exist, e.g. code share agreement.		IATA PSCRM	RP1008
Carrier, Original Receiving	The carrier on whose flight a passenger is originally ticketed to be carried from a connection point (see Resolution 735d).		IATA PSCRM	RP1008
Carrier, Participating	A carrier over whose routes one or more sections of carriage under the air waybill or ticket is undertaken or performed.		IATA PSCRM	RP1008
Carrying Member	Any Member participating in transportation of passenger.		IATA PSCRM	Reso766
Cascading	A scenario involving more than one trading partner in the processing of a query/reply. Cascading typically involves three host systems. A system (host one) originates a query, the receiving system (host two) determines via communications and application checks that the message (potentially with minor changes) should be forwarded to and processed by another system (host three). The resulting reply from host three is cascaded back through the same path, i.e., host three to host two to host one.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
CBT	Computer Based Training.		New	
Center of Gravity	The Center of Gravity or CG is the point where the aircraft"s weight is applied. The position of the CG has to stay within certain limits to ensure aircraft maneuverability and stability, and aircraft structural integrity.		New	
Central Africa	Malawi, Zambia, Zimbabwe	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
CG	See "Center of Gravity".		New	

Change of Equipment en Route	A scheduled change of aircraft, occurring one or more times en route, but identified by one airline designator/flight number between the station of origin and the station of destination. Example: Delta Flight 107 travels from point A to point B to point C. There is a change of equipment at point B, from a 727 aircraft to an L1011 aircraft. Although passengers must physically change aircraft, their flight number remains the same (DL 107) throughout the journey. **DL107** **A----------C** **727 L1011** ***A---------- B ----------C** * on-line or interline		IATA PSCRM	RP1008
Change of Equipment en Route	A scheduled change of aircraft, occurring one or more times en route, but identified by one Airline Designator/Flight Number between the Station of origin and the Station of final destination. For further guidance, see SSIM manual Appendix H: Duplicate Flight Legs.		IATA SSIM	
Change of Gauge	Flight which is published by an airline as a direct flight between two points but which involves one or more changes of aircraft en route. Typically this would involve a short-haul service feeding to or continuing from a long-haul flight. See "Change of Equipment en Route".	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Change of Gauge en Route	See “Change of Equipment En Route”.		IATA PSCRM	RP1008
Change of Gauge en Route	See “Change of Equipment En Route”.		IATA SSIM	
Channel	The locations from which a transaction such as a booking message or an availability request can be received. Examples are travel agent, another system, internet booking engines, or an airline.		New	
Charge	An amount to be paid for carriage of excess baggage based on the applicable rate for such carriage; or an amount to be paid for a special or incidental service in connection with the carriage of a passenger or baggage.		IATA PSCRM	RP1008
Charge, Cancellation	The service charge made by reason of failure of a passenger to use reserved accommodation without having cancelled such accommodation prior to the latest appropriate time for cancellation specified by the carrier.		IATA PSCRM	RP1008
Charge, Excess Baggage	A charge for the carriage of excess baggage.		IATA PSCRM	RP1008
Charge, Joint	A charge which applies for carriage over the lines of two or more carriers and which is published as a single amount.		IATA PSCRM	RP1008
Charge, Local	A charge which applies for carriage over the lines of a single carrier.		IATA PSCRM	RP1008
Charge, No-Show	The charge made by reason of the failure of a passenger to use reserved accommodation, either through failure to arrive at the airport at the time fixed by the carrier, or through arriving improperly documented or otherwise not ready to travel on the flight (see Resolution 735d).		IATA PSCRM	RP1008
Charge, On-line	See “Charge, Local”.		IATA PSCRM	RP1008
Charge, Published	A charge, the amount of which is specifically set forth in the carrier"s fares or rates tariff.		IATA PSCRM	RP1008

Charge, Through	A total charge from point of departure to point of destination. It may be a joint charge or a combination of charges.		IATA PSCRM	RP1008
Charge, Valuation	A charge for carriage of baggage, based on the declared value for carriage of such baggage.		IATA PSCRM	RP1008
Charges, Combination of	An amount which is obtained by combining two or more charges.		IATA PSCRM	RP1008
Check Digit	A digit added to a given number to check the accuracy of the number. The modulus 7 check digit used with document numbers is the remainder of the division of the number to be checked by 7.		IATA PSCRM	RP1008
Checked Baggage	See "Baggage, Checked".		New	
Check-in	The check-in process involves those activities necessary to evaluate passengers and make them ready to board flights. It also includes management of flight activities immediately before and after a flight has been dispatched from a gate, and other tasks associated with the handling of passengers in transit. Check-in activities can be performed at airports or at a remote location. Check-in can be performed by humans or by machines (self-service devices such as kiosks).		New	
Child	A person who has reached his/her second birthday but not his/her 12th birthday as of the date of commencement of travel.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Circle Flight	A multi-leg flight with the origin and destination being the same station.		New	
Circle Trip - Normal Fares	Travel from a point and return thereto by a continuous, circuitous air route, including travel comprising two fare components but which do not meet the conditions of the round trip definition	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Circle Trip - Special Fares	Travel from a point and return thereto by a continuous, circuitous air route, comprising only two international fare components which do not meet the conditions of the round trip definition	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
City	Point of origin or destination for a flight leg, segment, or journey. Usually represented by a three letter IATA/ATA code. See "Location Identifier".	All	IATA PADIS 07.1	
City Pair	Combination of two city and/or airport codes representing the origin and destination of a flight leg, segment or routing. Often used within reservations and distribution systems to define the record structure for the schedules database. See "Segment".	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
City Pair	See "Segment".		IATA SSIM	
Claim	A written demand for compensation prepared and signed by or on behalf of the passenger in the case of baggage, containing an itemized list and value of goods for which compensation is being requested.		IATA PSCRM	Reso 780
Claim Participating Airline	A revenue participating airline who shares in the settlement of a claim for the passenger's checked baggage.		IATA PSCRM	Reso 780
Claim Receiving Airline	A revenue participating/carrying airline who receives and processes the passenger's written demand for compensation for lost, damaged or delayed baggage.		IATA PSCRM	Reso 780

Class	Section of seats on any particular flight. A specific class code implies carriage in a particular compartment of an aircraft, with a corresponding standard of in-flight service. Additionally, system providers use class codes (known as reservations booking designators) to distinguish between different fare types and booking conditions such that a single compartment or cabin may contain passengers who have booked in many different fare classes. Most systems use a single alpha character to represent a class code, but in North America particularly, there is some use of two-letter class codes.		IATA PADIS 07.1	
Class	Segregation of passengers according to the fare paid or facilities and services offered.		IATA SSIM	
Class of Service	See "Reservations Booking Designator".	Res	New	
Clear Area	The area clear of printing or marking which surrounds the characters to be optically scanned.		IATA PSCRM	RP1008
Clone PNR	A PNR created by copying some or all of the data from an existing PNR in the same system.		IATA PSCRM	RP1008
CLUB	The Club is the CUTE local user board at an airport.		New	
Code List	For all simple data elements that indicate a coded value, the list of all applicable coded values by data element.	EDIFACT, XML	IATA SSIM	
Code Share	A commercial agreement between airline partners whereby a marketing partner publishes and manages marketing flight numbers for flights actually operated by a partner airline (operating carrier). Code Share is an agreement between two or more carriers to share each other"s inventory for optimal utilisation of the same. The company who actually operates the flight is called the Operating Carrier. The company who does not operate the flight but markets it under its own airline code and flight number is called the Marketing Carrier.		New	
Code Sharing	Code sharing exists when: (a) one carrier operates a flight on behalf of another, using that carrier"s airline designator in the flight number, (b) two or more carriers jointly operate a flight under one or more airline designators.		IATA PSCRM	Reso766
Code Sharing Flight	A generic term referring to various types of operational and/or commercial arrangements between two or more airlines. See "Commercial Duplicate Flight" or "Shared Airline Designation Flight".		IATA SSIM	
Co-Host Airline (carrier)	An industry term used to specify an airline whose schedules and availability are stored on a preferential basis in the System of another airline. A co-host arrangement may include additional features.		IATA PSCRM	Reso766
Co-Host Airline (carrier)	An industry term used to specify an airline whose schedules and availability are stored on a preferential basis in the System of another airline. A co-host arrangement may include additional features.		IATA PSCRM	RP1008
Combination	Whenever two or more one-way or round trip or half round trip fares are used and shown separately in a fare calculation	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Combination, Fare, Rate or Charge	The establishment of a fare, rate or charge by addition of sectional fares, rates or charges.	Tariff	IATA PSCRM	RP1008

Commercial Communication Facilities	Method used to communicate which includes mail, telegraph, TWX or Telex and long distance telephone.		IATA PSCRM	Reso766
Commercial Duplicate Flight	A flight where the operating airline allows seats/space to be sold by one or more other airlines and all participants to such an agreement sell their seats/space on that flight under their own Flight Designator. More than one Flight Designator is used for a single operating flight, including at least one with the Airline Designator of the operating airline, and at least one with the Airline Designator of a non-operating airline.		IATA SSIM	
Compartment	A space designated within the aircraft for the carriage of passengers or deadload. Often the terms "cabin" and "compartment" are used interchangeably.		IATA SSIM	
Complexing Flight	Flight which is displayed and sold under a marketing flight number but with actual carriage on more than one operational flight number. It is also called a “funnel”, “shared”, “starburst”, “W” and “Y” flight. Example: Legs AD, BD and CD are each members (with Leg DE) of funnel flights ABE, BDE and CDE. Legs AD and DE comprise Segment AE (ADE), and are identified by the member flight number DL123. Legs BD and DE comprise Segment BE (BDE), and are identified by the member flight number DL456. Legs CD and DE comprise Segment CE (CDE), and are identified by the member flight number DL789. Leg DE is not identified by flight number DL456 when it is not a member of Segment BE (BDE). Leg DE is not identified by flight number DL 789 when it is not a member of Segment CE (CDE). It continues to be identified as DL 123 when it is point-to-point form D to E. * all flights can be on-line or interline. Note: A complexing flight may be built in either direction, from many legs into one segment (as in the above example), and/or from one leg into many segments.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Complexing Flight	See "Funnel Flight".		New	
Component Data Element	A simple data element used within a composite data element.	EDIFACT	IATA SSIM	
Composite Data Element	Identified, named and structured set of functionally related component data elements, as described in a composite data element specification.	EDIFACT	IATA SSIM	
Composite Flight	A flight composed of two or more member flights of any type, but which is identified with an airline designator/flight number combination different from any of its member flights. *Example: DL6063, from A to C, is the composite flight comprised of the member flights DL 109 from A to B and DL 373 from B to C.* **DL6063** **A----------C** **DL209 DL373** **A---------- B ----------C** * on-line or interline	PADIS	IATA PADIS 07.1	

Composite Flight	A flight composed of two or more member flights of any type, but which is identified with an airline designator/flight number combination different from any of its member flights. *Example: DL6063, from A to C, is the composite flight comprised of the member flights DL 109 from A to B and DL 373 from B to C.* **DL6063** **A----------C** **DL209 DL373** **A---------- B ----------C** * on-line or interline		IATA PSCRM	RP1008
Composite Flight	A flight composed of two or more member flights of any type, but which is identified with an Airline Designator/Flight Number combination different from any of its member flights. *For further guidance, see also Appendix H: Duplicate Flight Legs.*		IATA SSIM	
Composite Meeting	A meeting of two or more Passenger Tariff Coordinating Conferences	Tariff	IATA Tariff	
Computer Generated Document Number	A document number that is computer generated and printed on the document at the time of issue. The airline code and form code may be preprinted, with the serial number being computer generated.		IATA PSCRM	RP1008
Computer Reservations System (CRS)	A computerized system containing information about schedules, availability, fares and related services, and through which reservations can be made and/or tickets issued, and which makes some or all of these facilities available to subscribers. The CRS is typically the same as a Global Distribution System (GDS).		IATA PSCRM	Reso766
Computer Reservations System (CRS)	A computerized system containing information about schedules, availability, fares and related services, and through which reservations can be made and/or tickets issued, and which makes some or all of these facilities available to subscribers. The CRS is typically the same as a Global Distribution System (GDS).		IATA PSCRM	RP1008
Conditional	In EDIFACT IATA PADIS documentation, conditional means that a group, segment, composite, or data element may be included if applicable but is not mandatory.	PADIS	New	
Conditional	In electronic ticketing and Electronic Miscellaneous Documents resolutions, conditional indicates that the data must be provided if available and applicable.	Ticketing	New	
Conditional	In Electronic Ticketing and Electronic Miscellaneous Documents Resolutions, conditional means that the data must be provided if available and if applicable.	Ticketing	New	
Conditional	The status of an data element, or EDIFACT segment, composite data element, simple data element or component data element, marked C, which becomes mandatory under certain circumstances which have to be specified. May be omitted if these circumstances do not prevail.	EDIFACT	IATA SSIM	
Conditions of Carriage	The terms and conditions established by a carrier in respect to its carriage.		IATA PSCRM	RP1008
Configuration	See "Aircraft Configuration".		IATA SSIM	
Connecting Carrier	A carrier to whose services the passenger and his baggage or the cargo are to be transferred for onward connecting transportation.		IATA PSCRM	RP1008

Connecting Point	A connecting point is an intermediate point in an itinerary at which the passenger deplanes from one flight and boards another flight either on the same airline, or at which he transfers from the flight of one airline to a flight of another airline for continuation of the journey		IATA PSCRM	Reso 780
Connection	Also known as "Transfer". The ability to transfer passengers, baggage, cargo or mail from one flight to another within a reasonable time period. On-line connections concern transfers between flights of the same airline designator and interline connections between flights of different airline designators.		IATA SSIM	
Constructed Fare	Unspecified through fares created by 1) the use of add-ons 2) two fares shown as a single amount in a fare calculation and shown as „C/	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Contact	PNR field used to hold telephone contact information. This field is typically called "Fone" in an IBM systems. Unisys systems typically call this field the "contact" element.		New	
Container	See "Unit Load Device".		IATA SSIM	
Containerized Aircraft	An aircraft of which the cargo compartments are equipped with a unit load devices conveyance and restraint system, in order to accommodate aircraft containers or pallets. This may be either a wide-body or a narrow-body aircraft.		New	
Continental USA	The 48 contiguous States and the District of Columbia. This does not include Alaska and Hawaii.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Continuing Itinerary	All remaining segments or portions of itinerary beyond any designated point or gap.		IATA PSCRM	Reso766
Controlled duplicate	An airline designator assigned by IATA to more than one airline. IATA uses special business rules to determine which codes and categories of service may be duplicated. The control duplicates are identified in the IATA Airline Coding Directory with an asterisk (*). Certain designators may not be duplicated. These are known as “primary” designators. Designators that may be duplicated are known as “secondary” designators.		New	
Coordinator	Natural or legal person with detailed knowledge of airline scheduling coordination, responsible for the allocation of slots at a fully coordinated airport.	Schedules	IATA SSIM	
Country of Commencement of Transportation	The country from which travel on the first international sector takes place	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Country of Payment	The country where payment is made by the purchaser to the Tariff Conference (TC) Member or its Agent; payment by cheque, credit card or other banking instruments shall be deemed to have been made at the place where such instrument is accepted by the TC Member or its Agent.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Country of Unit Origin	The country in which the unit origin is situated.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Coupon, Flight	The portion of the Passenger Ticket and Baggage Check or Excess Baggage Ticket that indicates particular places between which the coupon is good for carriage. The coupon may be paper or electronic.	Ticket	IATA PSCRM	RP1008
Coupon, Passenger	On carbonised documents, it is the portion of the Passenger Ticket and Baggage Check that constitutes the passenger"s written evidence of the contract of carriage.		IATA PSCRM	RP1008

Coupon, Passenger (coupon-by-coupon document)	It is the portion of the Automated Ticket/Boarding Pass (ATB) that constitutes the passenger"s printed evidence of the journey.		IATA PSCRM	RP1008
CPM	Container/Pallet Distribution Message. See IATA AHM 587.		New	
Crew Baggage	Baggage which is the property of operating crew and which is separately identified.		New	
CRS	A computerized system containing information about schedules, availability, fares and related services, and through which reservations can be made and/or tickets issued, and which makes some or all of these facilities available to subscribers. The CRS is typically the same as a Global Distribution System (GDS).	PADIS	IATA PADIS 07.1	
CRS	See "Computer Reservation System".		New	
CRS Subscriber	A person or entity other than an airline using a CRS under contract from a CRS Supplier for the sale of air transportation products and/or other related services.		IATA PSCRM	Reso766
CRS Subscriber	A person or entity other than an airline using a CRS under contract from a CRS Supplier for the sale of air transportation products and/or other related services.		IATA PSCRM	RP1008
CRS Supplier	Any entity and its affiliates that own in whole or in part a CRS.		IATA PSCRM	Reso766
CRS Supplier	Any entity and its affiliates that own in whole or in part a CRS.		IATA PSCRM	RP1008
CUPPS	Common Use Passenger Processing Systems. An IATA committee that develops standards for those organizations planning to operate shared passenger processing systems in an airport or other common environment. These systems generally support multiple airline processes.		New	
Currency of the Country of Payment	The currency in which international fares from that country are denominated.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
CUSS	Common Use Self Service. An IATA committee responsible for development of standards related to shared airline kiosks that can be used for passengers functions such features as check-in.		New	
Data	A representation of facts, concepts or instructions in a formalised manner suitable for communication, interpretation or processing by human beings or by automatic means.		IATA SSIM	
Data Dictionary	Document containing definitions of message structures, messages segments, composites and data elements for use by cooperating systems in the construction of messages and transactions. A similar concept exists for XML schemas.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Data Element	A data element is a sequence of alpha-numeric characters which, depending on their specific context and position, has a unique meaning, e.g. Flight Designator, Days of Operation.	EDIFACT	IATA SSIM	
Data Element Separator	A service character used to separate simple data elements or composite data elements.	EDIFACT	IATA SSIM	
Data Integrity	The transmission of electronic data as accepted, without alteration (intentional or unintentional).		IATA PSCRM	RP1008
Data Security	The denial of unauthorised access to, or transmission of, electronic data.		IATA PSCRM	RP1008

Data Security	The means of ensuring data is kept safe from corruption and access to is it suitably controlled. This includes capability to protect against intrusion or spying on transmission of and/or access to selected data. Additional features such as audit trails may be used to supplement data security.		New	
Date of Transaction	The date of issuance of the ticket, MCO or PTA	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Date Schedule	A display of routings that operate over a specified city pair. Similar to an availability display, except that availability status is not displayed.		New	
Days	Full calendar days, including Sundays and legal holidays (see IATA Resolution 735).		IATA PSCRM	RP1008
DBC	See "Denied Boarding Compensation".		New	
DCS	See "Departure Control System".		New	
Deadline	Reservations - the minimum/maximum number of days/months before the day of departure by which reservations must be confirmed. Ticketing - the minimum/maximum number of days/months before the day of departure or the minimum/maximum number of hours/days after reservation by which payment and ticketing must be completed; issue date of a PTA constitutes the ticketing date. NOTES: 1. When 'deadline' is used in paragraphs other than Reservations and Ticketing, the term refers to the deadline for reservations and ticketing. When different deadlines apply, it is necessary to specify which deadline (e.g. 'before ticketing deadline') 2. 'Before deadline' includes transactions made on the deadline date.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Deck	A structural floor level for aircraft having one structural level only, this floor level must be referred to as the main deck. For aircraft having more than one structural floor level, the different floor levels must be referred to as lower deck, main deck and upper deck, starting from bottom to top.		New	
Declared Value for Carriage	The value of goods or baggage declared to the carrier by the passenger for the purposes of determining charges or of establishing the limit of the carrier"s liability for loss, damage or delay.		IATA PSCRM	RP1008
DEI	Data Element Identifier. Data elements identifiers are used in exchange of schedule information and are identified as a sequence of alpha/numeric characters used to encode flight characteristics. Depending on their context and location in IATA SSIM/SSM messages, they provide a unique meaning. See IATA Standard Schedule Information Manual (IATA SSIM) for all details concerning DEIs.		New	
Delivering Member	The Member on whose flight a passenger is to be carried to an interline point or gap.		IATA PSCRM	Reso766
Denied Boarding Compensation	In defined conditions, compensation paid to a confirmed passenger when he is denied boarding on a flight, e.g., due to oversale of the flight.		New	
Density	The relationship of weight to volume in a unit.		New	
Departure	The day/time of the flight on which the passenger is booked/ticketed to travel NOTES: 1) Before departure: the definition refers to the first flight of the pricing unit 2) After departure: the definition refers to subsequent flights of the pricing unit		IATA Tariff	Reso 012

Departure Control System (DCS)	An automated method of performing check-in, capacity and load control and dispatch of flights. Generally, these type of systems are owned and/or operated by an airline or system provider.		IATA AHM	810
Departure Control System (DCS)	An automated method of performing check-in, capacity and load control and dispatch of flights. Generally, these type of systems are owned and/or operated by an airline or system provider.		IATA PSCRM	RP1008
Deplaning Point	The point at which a passenger is scheduled to disembark from a flight of the boarding Member.		IATA PSCRM	Reso766
Destination	The ultimate stopping place according to the contract of carriage.		IATA PSCRM	RP1008
Destination	The ultimate stopping place of the journey as shown on the ticket.		IATA Tariff	Reso 012
Digital ID (Identification)	A Digital ID is a secure, digital credential used to authenticate and verify the identity of a person.		New	
Direct Access	One of the number of proprietary names for links between CRSs which give access to the inventory of one system from terminals attached to another. Different names may indicate different standards for naming such links; each is particular to the system concerned.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Direct Access System	A system which enables a user to have real time direct access to other airline Systems through a prime host airline System.		IATA PSCRM	Reso766
Direct Access System	A system which enables a user to have real-time direct access to other airline systems through a prime host airline system. Also see “Multi-Access” and “Single Access System”.		IATA PSCRM	RP1008
Direct Flight	Any flight ticketed as a single flight coupon, irrespective of whether there are enroute stops and/or changes of aircraft types		IATA Tariff	Reso 012
Direct Flight	Flight connecting two cities or airports with or without enroute stops; passengers need not change aircraft (except for a change of gauge flight.)	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Direct Link	Connection between two systems using a dedicated communications line, as distinct from connection via a switched network such as SITA or ARINC.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Direct Loss	A loss arising naturally or directly from an occurrence and which excludes remote, indirect, consequential, or special losses or damages, such as loss of revenue or loss of profit.		IATA AHM	810
Direct Route	The shortest all year route operated by any Tariff Conference (TC) Member in both directions between ticketed points at which it exercises traffic rights; provided that 1) where a point is not served by any TC Member via the same route in both directions, the services of any non-TC Member, Associate Member and/or any scheduled non-IATA carrier shall be used, but only as the initial sector and/or the terminating sector 2) the services of any scheduled air carrier may be used a) over domestic sectors b) over sectors as provided in Resolution 011a 3) where a point is only served seasonally, the services of any scheduled air carrier may be used but only as initial or terminating sector provided further that any routing specified in Attachment 'A' to Resolution 011 as a 'basic routing' shall be deemed to be the direct route	Tariff	IATA Tariff	Reso 012

Direct Route Fare	The fare over the direct route between two points. When no direct route fare exists between two ticketed points, a fare must be established by combination over a ticketed point on the itinerary.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Disembarkation	See "Deplaning Point".		New	
Display fare routing information	The display of routing information incorporating class and carrier restrictions for a specified fare, e.g., LAX DL DEN DL DFW DL MSY DL ATL.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Display of a specific fare rule	The display of the text of fare rules and conditions related to a specific fare.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Distribution Channel	The method and/or outlet through which a reservation is initiated and/or achieved.		New	
Distribution System	A Computer Reservation System (CRS).	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Divide	Function provided by reservations systems to allow a PNR to be split into two (or more) separate PNRs such that different members of the traveling group may follow different itineraries.		IATA PADIS 07.1	
Document Number	The unique identification number of a traffic document as outlined in IATA Recommended Practice 1720a. The document number comprises the airline code, form code, serial number and in some cases, a check digit.		IATA PSCRM	RP1008
Domestic Flight Leg	A flight between two stations to which the same ISO country code applies.		IATA SSIM	
Domestic Transfer	A change from the domestic service of one carrier to another domestic service of the same carrier (online transfer) or to the domestic service of another carrier (interline transfer)	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Duplicate Leg	A single non-operational leg that, for commercial/technical reasons, is displayed under more than one flight number by the operating carrier, or is displayed by a different airline designator/flight number by an airline other than the operating carrier.		IATA PSCRM	RP1008
Duplicate Leg	A single, non-operational, leg of a flight that, for commercial/technical reasons, is displayed under more than one Flight Number by the operating carrier, or is displayed by a different Airline Designator/Flight Number by an airline other than the operating carrier. *For further guidance, see also Appendix H: Duplicate Flight Legs.*		IATA SSIM	
Duplicate Reservation	A condition which arises when two or more reservations are made for the same passenger(s) when it is evident the passenger(s) will be able to use only one, except that a request to change an itinerary, whether or not it is so identified, shall not be considered a duplicate reservation.		IATA PSCRM	Reso766
EAI	Enterprise Application Integration		New	
Eastern Africa	Burundi Djibouti Eritrea Ethiopia Kenya Rwanda Somalia Tanzania Uganda	Tariff	IATA Tariff	Reso 012

ECAA	**European Common Aviation Area and related States:** Austria Liechtenstein Belgium Lithuania Bulgaria Luxembourg Cyprus Malta Czech Republic Netherlands Denmark Norway Estonia Poland Finland Portugal France Romania Germany Slovakia Greece Slovenia Hungary Spain Iceland Sweden Ireland Switzerland Italy United Kingdom Latvia In the event other nations join the European Common Aviation Area the Secretary is authorised to update this list. The Secretary shall circulate such changes and effective dates to all TC Members		IATA Tariff	Reso 012
EDI	See "Electronic Data Interchange".		New	
EDIFACT	Electronic Data Interchange For Administration, Commerce and Trade. Structured message formats and session controls for exchange of data between systems.		IATA SSIM	
eGate	An eGate is an automated, electronic barrier used to provide fast-track access to an aircraft or through a national border after presenting biometric or digital identification, machine readable travel document or a combination of all three.		New	
Electronic Data Interchange (EDI)	The computer-to-computer (application-to-application program processing) transmission of business data in a standard format.		IATA AHM	810
Electronic Funds Transfer	The electronic transfer of funds without any paper, normally to or from a bank account.		IATA PSCRM	RP1008
Electronic Miscellaneous Document (EMD)	Electronic Miscellaneous Document - Electronic version of a paper Miscellaneous Charges Order (MCO). This accountable document is used for non-transport charges, e.g., group deposit, excess baggage, optional services and various other miscellaneous charges levied by an airline.		New	
Electronic Ticket	Electronic file representing entitlement to travel and generally replacing traditional paper tickets.		New	
Electronic Ticket Delivery Network (ETDN)	A network of ATB delivery locations operated by an authorised third party contractor.		IATA PSCRM	RP1008
e-mail	E-mail (electronic mail) is a store and forward method of composing, sending, receiving and storing messages over electronic communication systems.		New	
Embarkation	See "Board Point".	All	New	
EMD	See "Electronic Miscellaneous Document".		New	
En Route	Equivalent to “Through”. Between station of origin and station of destination.		IATA SSIM	
End Transaction	Functionality to complete a creation or update session on a PNR. End transaction produces a new or modified record stored in the passenger record database.		New	

End-On Combination	Combination of pricing units at a fare construction point (except as provided in local combination).	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Endorsement	Written authority from a carrier to transfer an Accountable Traffic Document (Ticket, Miscellaneous Charges Order or Multiple Purpose Document), or individual coupon(s) thereof, to another carrier. Such written authority will normally be stamped in the "ENDORSEMENTS/ RESTRICTIONS" box. Endorsements may also be effected using commercial or interline communications facilities (see IATA Resolution 736 and Recommended Practice 1736).		IATA PSCRM	RP1008
Entry/exit Systems	A border security and management system for capturing biometric data upon arrival and departure, allowing immigration officials to accurately track passenger movements and to match arriving and departing visitors against national criminal and/or terrorist biometric watch-lists		New	
EOT	See "End Transaction" or "PNR End Transaction".		New	
ET	See "Electronic Ticket".		New	
ETL	The ETL is a teletype message generated by the DCS to advise selected applications of all locally boarded passengers who checked-in with an electronic ticket.		IATA PSCRM	RP1707b RP1719c
eToken	See "Digital ID".		New	
EU	See "European Union".		New	
European Union	The European Union (EU) is an economic and political union between member countries located primarily in Europe.		New	
Excess Baggage	Baggage that does not meet the defined allowances for the passenger journey.		New	
Exchange Order	A document issued by a carrier or its agents requesting issue of an appropriate Passenger Ticket and Baggage Check or provision of services to the person named in such document (see Resolution 725).		IATA PSCRM	RP1008
Exchange Rate Display	Display of the exchange rate from one currency to another currency for the IATA Clearing House, IATA Rate of Exchange (ROE), Bankers buying or Bankers Selling rates.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Exchange/ Reissue Transactions	The value of one document moved to another document, in accordance with the provisions of IATA Passenger Tariff Coordinating Conference Resolution 017f Section C 1 "Voluntary Reroutings (for totally unused tickets)". Reissue is defined as an issuance of a new ticket against a previously issued ticket, in accordance with the provisions of IATA Passenger Tariff Coordinating Conference Resolution 017f Section B "Voluntary Reroutings (for partly used pricing units)".		IATA PSCRM	RP1008
Expedite Baggage	Passenger baggage that is not traveling with the passenger due to mishandling and is being forwarded to the passenger.		New	
Family, Immediate	A spouse, children, parents, brothers, sisters, dependent relatives or dependents in the household (see Resolution 788). See "Immediate Family".		IATA PSCRM	RP1008
Fare	The amount charged by the carrier for the carriage of a passenger and his allowable free baggage and is the current fare which a Member, in the publication it normally uses to publish fares, holds out to the public, or the appropriate segment of the public, as being applicable to the class of service to be furnished.		IATA PSCRM	RP1008

Fare Break Points	See "Fare Construction Points".	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Fare Component	A portion of an itinerary between two consecutive fare construction points. If the journey has only one fare component, the points of origin and destination are the only fare construction points	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Fare Construction Points	The terminal points of a fare component (these are also termed fare break points).	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Fare display by city pair	The display of fare data for a specified city pair. Information such as carrier, class of service and fare type may also be used to limit the display, e.g.., FRA TYO or FRA TYO Y	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Fare, Adult	The fare for a person who has attained his twelfth birthday.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Applicable	For fare construction purposes, a fare which is established after the application of all fare construction calculations, e.g. excess mileage fare, higher intermediate fare but excluding related charges e.g. amounts to be annotated with „S" or „Q"	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Fare, Children"s	A fare for a person who has attained his second but not his twelfth birthday as of the date of commencement of travel.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Constructed	Unspecified through fares created by the use of add-ons or two fares shown as a single amount in a fare calculation and shown as "C/".		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Direct	For fare construction purposes, a fare between two points without the application of fare construction calculations	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Fare, Economy	Equivalent to "Tourist Fare". The fare established for an economy/tourist class service.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, First Class	The fare established for a first class service.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Infant	The fare for a person who has not attained his second birthday.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Joint	A fare which applies for carriage over the lines of two or more carriers and which is published as a single amount.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Local	Equivalent to the term "On-line Fare". A fare which applies for carriage over the lines of a single carrier.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Normal	A fare established in the Resolution 040/050/060 series for intermediate, first or economy class service and any other fare denominated and published as a normal fare (e.g. C2, F2, Y2). Children"s fares and infants" fares which are established as a percentage of the fares referred to above are also considered to be normal fares.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, On-line	See "Fare, Local".		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Published	A fare, the amount of which is specifically set forth in the carrier"s fares tariff.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Sectional	A fare for travel by one class of service which is established and used by a scheduled air carrier(s) (including any individual joint fares) for a section of a through route.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Special	A fare other than the normal fare.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Specified	The fare specifically set out in a tariff.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Through	A fare applicable for travel between two consecutive fare construction points via an intermediate point(s).		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Tour Basing	A fare which may be used only for air transportation as part of an inclusive tour.		IATA PSCRM	RP1008
Fare, Tourist	See "Fare, Economy".		IATA PSCRM	RP1008

Fares, Combination of	An amount which is obtained by combining two or more fares.		IATA PSCRM	RP1008
Fee, Cancellation	See “Charge, Cancellation”.		IATA PSCRM	RP1008
Fictitious Point	A Location Identifier reserved for the purpose of schedule construction to overcome day/date duplication and to describe legs with elapsed times greater than 23 hours 59 minutes.		IATA SSIM	
FIDS	See "Flight Information Display System".		New	
Firming	A procedure whereby a carrier at a boarding point contacts passengers holding definite reservations to ensure that they actually intend using this space (see IATA Resolution 766).		IATA PSCRM	Reso766
Firming	A procedure whereby a carrier at a boarding point contacts passengers holding definite reservations to ensure that they actually intend using this space (see IATA Resolution 766).		IATA PSCRM	RP1008
First Boarding Point	The point in a portion of an itinerary applicable to a given Member at which the passenger commences travel on the services of that Member. When the itinerary is changed, the term relates to the point at which the passenger commences travel on Members" service in the revised routing, irrespective of the start point applicable to the original itinerary.		IATA PSCRM	Reso766
First Close Flights or First Closing Availability	Flights not inventory controlled in the host system. They are either in a status of open for sale (AS) or closed for sale (CR). First closing availability means that only the first close-out message affecting a given flight/class/date is transmitted. This closes out further sales (CR) but not requests for the entire flight/class/date.		IATA PSCRM	RP1771
FLIFO	The abbreviated form of operational flight information. Relates to operational characteristics such as flight number, expected departure and arrival times, gate number of departure, actual departure and arrival times, and reason for any irregular operations.		New	
Flight	The operation of one or more legs with the same Flight Designator (airline code, flight number and optional operational suffix).		IATA SSIM	
Flight	The operation of one or more legs with the same Flight Designator (airline code, flight number and optional operational suffix).		New	
Flight Coupon(s)	That portion of a Ticket annotated „good for passage" or a segment(s) of an Electronic Ticket.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Flight Designator	Flight designator is an identifier that consists for the airline code, the flight number and an optional operational suffix.		New	
Flight Information Display System	A Flight Information Display System is a service that displays information for both passengers and airport/airline staff concerning such data as airline/flight number, boarding/deplaning gate, scheduled departure and/or arrival including delay or cancellation information, etc. The information is typically organized by either departures or arrivals and is in time order.		New	
Flight Interchange	A flight that gives passengers the benefit of a through service and is operated by two or more carriers from the boarding point to the deplaning point using the same aircraft (see Resolution 766).		IATA PSCRM	RP1008
Flight Number	Flight number consists of one to four digits and an optional alpha suffix code.		New	

Flight Number	The numerical designation of a flight (see Resolution 761).		IATA PSCRM	RP1008
Flight Number	The numerical designation or identification of a flight.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Flight Segment Number	When used in the PNR Data Exchange, the flight segment number is used for change of gauge flights to indicate the segment within an origin and destination where the flight changes aircraft. For example, assuming a flight operates LON PAR MAD BCN OPO and there is an aircraft change in MAD and a passenger is booked PAR OPO, segment one would be PAR MAD and segment two would be MAD OPO. This method is used to identify such information as global route, etc.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Flight, Inaugural	This is a flight that meets one or more of the following criteria: (a) operation of an air service over an entirely new route; (b) operation of an air service over an existing route with an extension at either the origin and/or destination points; (c) operation of an air service to a new intermediate point; or (d) operation of a new type of aircraft different from that previously operated by the carrier on the route.		IATA PSCRM	RP1008
FOID	Form of identification. Typically used to identify that the passenger is who he says he is. This information may be passed in the reservation as an SSR and subsequently passed to a PNL/ADL to Departure Control in a .R/ element.		New	
FONE	PNR field used to hold telephone contact information. Some systems store telephone contact information in a field called "Fone" and some store this information in a field called "Contact".	PADIS	IATA PADIS 07.1	
France	**Metropolitan France** Continental France and Corsica **French Overseas Departments (DOM)** French Guiana, Guadeloupe (including St. Barthelemy, Northern St. Martin, Les Saintes, La Desirade, Marie-Galante-Grand Bourg), Martinique, Mayotte, Reunion, St. Pierre and Miquelon **French Overseas Territories (TOM)** New Caledonia (including Loyalty Islands), French Polynesia (including Wallis and Futuna	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Free Sale Agreement	A bilateral or multilateral agreement between carriers or between carriers and CRSs which permits immediate confirmation of space in accordance with terms of agreement without the necessity of maintaining space availability information (see Resolution 766).		IATA PSCRM	Reso766
Free Sale Agreement	A bilateral or multilateral agreement between carriers or between carriers and CRSs which permits immediate confirmation of space in accordance with terms of agreement without the necessity of maintaining space availability information (see Resolution 766).		IATA PSCRM	RP1008
Freedom - Fourth	The right for an air carrier to take on, in another State, passengers, freight and mail for off-loading in the State in which it is registered	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Freedom - Third	The right for an air carrier to put down, in the territory of another State, passengers, freight and mail taken up in the State in which it is registered	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
French Gold Francs	Francs consisting of 65½ milligrams of gold with a fineness of nine hundred thousandths.		IATA PSCRM	RP1008

Front End Querying System	The system that initiates the transaction. (NOTE: Do not refer sending/ receiving system). See the IATA Host to Host Specifications in SCR for further information.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
FTL	Frequent Traveler List. The FTL is a teletype message generated by the DCS to advise selected applications of all locally boarded passengers who checked-in with a frequent traveller account number.		IATA PSCRM	RP1707b RP1719a
Full Poll	An option in a bilateral agreement to apply real time availability queries to all flight dates of the partner airline.		New	
Funnel Flight	A flight composed of two or more operational flights. Only one airline designator/flight number is operational on any one leg, but a leg may have multiple, non-operational flight numbers. Several flights feeding into one flight. See IATA SSIM for more details.		New	
Funnel Flight	Also known as "Complexing", "Starburst", Shared, "W" or "Y" flights. A flight composed of two or more member flights which is identified by the airline designator and flight number of one of the members. Only one airline designator/flight number is operational on any one leg, but a leg may have multiple, non-operational flight numbers. *Example: Legs AD, BD and CD are each members (with Leg DE) of funnel flights ADE, BDE and CDE. Legs AD and DE comprise Segment AE (ADE), and are identified by the member flight number DL 123. Legs BD and DE comprise Segment BE (BDE), and are identified by the member flight number DL 456. Legs CD and DE comprise Segment CE (CDE), and are identified by the member flight number DL 789.* *Leg DE is not identified by flight number DL 456 when it is not a member of Segment BE (BDE).* *Leg DE is not identified by flight number DL 789 when it is not a member of Segment CE (CDE). It continues to be identified as DL 123 when it is point-to-point from D to E.* **** REINSERT PICTURE. ***Note:*** *A funnel flight may be built in either direction, from many legs into one segment (as in the above example), and/or from one leg into many segments*.		IATA PSCRM	RP1008
Funnel Flight	Also known as Complexing, Starburst, W or Y FLIGHTS. A flight composed of two or more member flights which is identified by the Airline Designator and Flight Number of one of the members. Only one Airline Designator/Flight Number is operational on any one leg, but a leg may have multiple, non-operational Flight Numbers. ** For further guidance, see also Appendix H: Duplicate Flight Legs.*		IATA SSIM	
Gap	That part of an itinerary (except the distance between two airports serving the same city) involving transportation by means other than by a scheduled service.		IATA PSCRM	Reso766
Gateway	First point of arrival/last point of departure in a country/area.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
GDS	See "Global Distribution System".		New	

GIT	Group Inclusive Tour Fares	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Giveaway	Anything given gratuitously by a carrier, whether or not paid for by the carrier, to a passenger, other than whether or not paid for by the carrier, to a passenger, other than air carriage from airport of departure to airport of destination.		IATA PSCRM	RP1008
Global Distribution System	A computerized system containing information about schedules, availability, fares and related services, and through which reservations can be made and/or tickets issued, and which makes some or all of these facilities available to subscribers, e.g., travel agency. A GDS is sometimes called a Computer Reservation System (CRS).		New	
Global Indicator	The global routing applicable to the fare as shown in Resolution 011b.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
GMT	Greenwich Mean Time. See "Universal Time Coordinated".		New	
GOSHO	Go show. A departed passenger that is not shown on a PNL/ADL and does not have an OK ticket. See "Standby".		IATA PSCRM	RP1719
Go-Show	See “Standby”.		IATA PSCRM	RP1008
Group	When used in the Interline Reservations context, ten or more passengers, excluding infants, travelling together or where provisions of Reso 766, section14.2 apply.		IATA PSCRM	Reso766
Group identifier	Used as part of the point of sale information to identify a group of offices, agencies or terminals for purposes of making commercial or security decisions, e.g., inventory control or PNR access.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Group Organiser	Any person (including a Tariff Conference Member or IATA Sales Agent) who organises and promotes prepaid pre-arranged group travel.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
GSA	General Sales Agent. Term used to define a business relationship between a travel agency/interline partner and an airline where the travel agency/interline partner acts as that airline's representative in locations where there is no representation for that airline.		New	
Guardian	A legal guardian or a person acting in lieu of parents in the event of death or legal incapacity of parents.		IATA PSCRM	RP1008
GUI	Graphical User Interface.		New	
Half Round Trip Fare	Half of a specified or constructed round trip normal or special fare. In the absence of a specified or constructed round trip normal fare, the one way normal fare is considered to be a half round trip normal fare. If a specified or constructed one way special fare may be doubled to establish a round trip special fare, the one way special fare is considered to be a half round trip special fare	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Hard Copy	A paper record of information stored or relayed.		IATA SSIM	
Hard Copy	A printed copy of an electronically transmitted text.		IATA PSCRM	RP1008
Historic or Historical Slot	A slot that has been allocated to, and operated by, an airline in one scheduling season which can be claimed again in the next equivalent season, subject to certain operating criteria.		IATA SSIM	
Hosted Airline (Carrier)	An airline who utilises the facilities of another system to process, on an inventory basis, reservations and other passenger related information.		IATA PSCRM	Reso766
Hosted Airline (Carrier)	An airline who utilises the facilities of another system to process, on an inventory basis, reservations and other passenger related information.		IATA PSCRM	RP1008

Hot Spot Carbon	A type of carbon used to produce the image on the flight, exchange and passenger coupons of paper traffic documents.		IATA PSCRM	RP1008
Hybrid Wrap-up	An AIRIMP PNR teletype message wrapped in an EDIFACT envelope.	EDIFACT	New	
IATA	International Air Transport Association.		IATA SSIM	
IATA	International Air Transport Association.		New	
IATA AHM	IATA Airport Handling Manual	Airport	New	
IATA AHM	IATA Airport Handling Manual.	Airport	IATA SSIM	
IATA PSCRM	IATA Passenger Services Conference Resolutions Manual. A manual dealing with standards for passenger related messages and handling. Numbers below 1000 refer to Resolutions and numbers from 1000-1999 refer to Recommended Practices.		New	
IATA Rate of Exchange (IROE)	The rates of exchange notified by IATA to convert local currency fare to NUC and to convert total NUC amounts to the currency of the country of commencement of transportation.		IATA Tariff	Reso 012
IATA SSIM	See IATA "Standard Schedules Information Manual".		IATA SSIM	
IATA SSIM	See IATA "Standard Schedules Information Manual".		New	
IATA SSIM File	A fixed format and organized file that is used to transmitting bulk transfer of schedules to those computerized systems that maintain a schedules databases. Various transmission methods may be used as agreed by the trading partners, e.g., bulk file transfer, tape, diskette, etc. Data content is also variable as agreed by the trading partners, all schedules/all airlines, all schedules/one airline, only changed schedules/all airlines, etc.		New	
IATCI	Inter Airline Through Check-In. Comprises all the passenger handling procedures associated with a passenger traveling on one Airline"s flight and transferring onto another Airline"s flight, using one check-in transaction for multiple airline flights using multiple systems.		New	
IATED	„IATED" — IATA EDIFACT Database		IATA SSIM	
ICAO	International Civil Aviation Organization.		IATA SSIM	
Identifier	A character or group of characters used to identify or name an item of data and possibly to indicate certain properties of that data.		IATA SSIM	
IDM	The IDM is a teletype message generated by the DCS to the next downline station to advise of boarded passengers who are available for downline de-boarding.		IATA PSCRM	RP1707b RP1714
I-EDI Transaction	A interactive transaction consisting of a sequence of one or more EDIFACT messages exchanged between two or more business partners in a defined order to achieve a business objective. It must have a defined start and finish.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Immediate Family	Spouse, children (including adopted children), parents, brothers, sisters, grandparents, grandchildren, parents-in-law, brothers-in-law, sisters-in-law, sons-in-law, daughters-in-law	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Incapacitated Passenger	A passenger whose physical, medical or mental condition requires individual attention (on enplaning and deplaning, during flight, in an emergency evacuation, during ground handling) which is not normally extended to other passengers.		IATA PSCRM	Reso766
Inclusive Tour	A pre-arranged combination of air transportation and surface arrangements other than solely public transportation.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012

Indian Ocean Islands	Comoros, Madagascar, Mauritius, Mayotte, Reunion, Seychelles	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Indirect Route	Any scheduled continuous air route other than a direct route.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Infant	A person who has not reached his/her second birthday as of the date of commencement of travel.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Innovata	Publisher of schedules information in both paper and electronic form.		New	
Interactive Conversation	A conversational dialogue between systems that allows for immediate processing and response and can involve additional queries and responses.		IATA PSCRM	RP1008
Interchange	A sequence of EDIFACT messages, of the same or of different types, starting with the interchange header and ending with the interchange trailer.	EDIFACT	IATA SSIM	
Interchange Flight	A flight that gives passengers the benefit of a through service and is operated by two or more carriers from the boarding point to the deplaning point using the same aircraft (see Resolution 766).		IATA PSCRM	Reso766
Interchange Header	The service segment starting and uniquely identifying an interchange.	EDIFACT	IATA SSIM	
Interchange Trailer	The service segment ending an interchange.	EDIFACT	IATA SSIM	
Interface	A translation function between a user and a system or between a user and a number of systems or between two or more systems.		IATA PSCRM	Reso766
Interface	A translation function between a user and a system or between a user and a number of systems or between two or more systems.		IATA PSCRM	RP1008
Interline	Used in conjunction with another word to describe anything involving two or more Members, such as interline itinerary, interline reservation, interline stopover, interline point, interline transaction, etc.		IATA PSCRM	Reso766
Interline Point	Any point in the itinerary at which the passenger is to change from the flight of one airline to the flight of another, whether a connection or stopover at such point is involved (all airports through which a city or adjacent cities are served by an airline being considered as a single interline point).		IATA PSCRM	Reso766
Interline Transfer	Transfer from the service of one carrier to the service of another carrier.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Intermediate Class	A class of service with seating standards which may be superior to those provided on economy/tourist class but less liberal than standards provided in first class.		IATA PSCRM	RP1008
Inter-modal	A journey involving two or more different modes of transportation, e.g. between an airline and a railway, as governed by Recommended Practice 1780e.		IATA PSCRM	RP1008
International Flight Leg	A flight leg between two stations to which different ISO country codes apply.		IATA SSIM	
International Transfer	A change from the international service of one carrier to another international service of the same carrier (online transfer) or to the international service of another carrier (interline transfer).	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
International-Domestic Transfer	A change between the international service of one carrier and domestic service of the same carrier (online transfer) or another carrier (interline transfer).	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Inventory	In an airline system, the count of space available for sale, broken down by flight, date, class, leg, segment and possibly other parameters. In more general terms, inventory also applies to cars, hotel space, ferry space or counts of any other product sold through a CRS.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
ISO	International Organization for Standardization. This organization assigns and maintains such information as country codes.		IATA SSIM	

Issuing Carrier	TC Member whose tickets are issued to the passengers.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
IT	Individual Inclusive Tour Fares	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
IT	See "Inclusive Tour".		New	
Itinerary	A single flight or a series of identical flights defined by a continuous Period and Days of Operation (and Frequency Rate if applicable), each of which consists of one or more contiguous legs which, taken together, describe the complete routing of that flight.	Schedule	IATA SSIM	
Itinerary	The part of the PNR describing the flight segments booked for the passengers named in the name field of the PNR.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Itinerary	The sum of all portions from beginning to ending of passenger"s trip (journey), even though separated by gap(s).	PNR	IATA PSCRM	Reso766
Itinerary Pricing	A functionality that offers a given price or a list of prices for a given itinerary, based on flights, classes of service, date/time of departure, etc. This pricing functionality may apply to a booked itinerary as well as to a non-booked itinerary that is created for the purpose of obtaining an informative pricing. The response may also contain data pertinent to ticketing information.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Itinerary Receipt	For electronic tickets, a document containing information related to the passengers ticket, e.g., name, itinerary, fare, and various other types of information. See IATA PSCRM Reso 722f for details of the Itinerary Receipt.		New	
ITSS	IATA Travel Settlement Services.		New	
Joint Operation Flight	A flight on which more than one airline operates one or more of its legs. Only one Flight Designator exists for each operating flight.		IATA SSIM	
Journey	Origin to destination of the entire ticket.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Journey	Travel between an airport/city where travel commences and an airport/city where travel ultimately terminates. A journey may be comprised of one or more segments.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Journey Data	Journey data is exchanged in interactive communication and contains all active air segments that exist in the current agent work area. See IATA RP 1779 for additional information.		New	
JPSC	Joint Passenger Services Conference (ATA/IATA)		New	
JSAG	Joint Schedules Advisory Group.		IATA SSIM	
KPI	Key Performance Indicator		New	
Last Seat Availability	Facility provided in some CRSs to allow access to the precise inventory counts of a particular flight in another system. Sometimes used generically to describe any method of obtaining exact inventory counts from another system. Several types of Last Seat Availability are presently in use: 1. The originator may specify the carrier, city pair and date in the request. The receiving carrier limits the routings to be returned accordingly. 2. The originator may specify the carrier and flight number in the request. The receiving carrier returns only the information for specified carrier and flight number. 3. The originator may specify the city pair and date in the request. The receiving carrier chooses the routings to be returned.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Late Cancellation	A reservation cancelled after the latest appropriate time prior to scheduled departure time specified by the Member.		IATA PSCRM	Reso766
LDCS	See "Local Departure Control System".		New	

LDM	Load Message. See IATA AHM 583.		New	
Leg	The operation between a departure station and the next arrival station.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Leg	The operation between a departure station and the next arrival station.		IATA PSCRM	Reso766
Leg	The operation between a departure station and the next arrival station.		IATA SSIM	
Leg	The operation between a departure station and the next arrival station.		New	
License Plate	A unique identifier composed of the Baggage Tag Issuer Code (BTIC) and the tag serial number.		IATA PSCRM	Reso769
Limited Agreement	An agreement reached by two or more TC Members; binding on those Members who are party to it and upon those Members not present at the Conference who operate Third/Fourth or Fifth Freedom Services between the countries between which the agreement is to apply.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Line Number	Typically, line number refers to a line number from a display, e.g., sequence line number from an availability display (PAORES). Additionally, it may be used as an option number (See definition option number)	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
LNIATA	In some systems, this is used to define terminal communications information where LN = line number, IA = interchange address and TA = terminal address.	EDIFACT\	IATA PADIS 07.1	
Loads	Baggage, cargo, mail and any aircraft supplies including ballast.		IATA AHM	810
Loadsheet	A completed load sheet contains weight and balance data pertaining to a particular flight, including the weight of the aircraft, crew, pantry, fuel, passengers, baggage, cargo and mail. Where necessary, it contains details of the distribution of this load in the aircraft.		New	
Local Combination	Combination of two fare components to create a single pricing unit - this also applies to the combination of two one-way fares, provided the second fare component returns to the country of origin of the first fare component. NOTES: 1) Canada and USA are considered one country 2) Scandinavia is considered one country	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Local Currency Fares	Fares and related charges expressed in the currency of the country of commencement of travel. See Resolution 024a for those countries where the US Dollar is used for local currency	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Local Departure Control System	A Local Departure Control System owned by an airport or handling agent and generally operated locally at the airport and not as an ASP model.		New	
Local Passenger	A passenger who is in touch directly (or through another person) with the airline's local office, or is in touch with the airline's local office through a travel agent or local office of another Member.		IATA PSCRM	Reso766
Local Reservation	A reservation for a passenger who has booked directly with an airline's local office or through a local travel agent or local office of another Member located in the same metropolitan area, or the area served by the airport(s) of your city.		IATA PSCRM	Reso766
Location Identifier	A three alpha identifier used as a code in industry messaging and documentation to represent an airport, a city, a metropolitan area, a non-air location (e.g., rail location), and/or an off-line point used for communication. IATA assigns these codes.		New	

Location of Record	Exchanged as part of a teletype record locator which is composed of the booking office and the location of record. See ATA/IATA Reservations Interline Message Procedures — Passenger (AIRIMP) for full details.		IATA PSCRM	Reso766
Low fare finder	A functionality that gives an alternative pricing offer for a given itinerary by taking into account different choices that vary by: classes of service, or by flights, classes of service, date/time of departure, etc., and may offer a lower price than the one calculated for the passenger's original itinerary.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Lozenge	The start/stop character used in conjunction with an OCR document number on flight coupons to identify the 13-digit numbering scheme as opposed to the 12-digit scheme.		IATA PSCRM	RP1008
Luggage	See “Baggage”.		IATA PSCRM	RP1008
Luggage, Registered	See “Baggage, Checked”.		IATA PSCRM	RP1008
Machine Readable	Indicates that information is acceptable to read by a system without manual input.		IATA PSCRM	RP1008
Machine Readable Travel Document	Machine Readable Travel Document is a travel document that can be electronically read in accordance with ICAO Document 9303.		New	
Machine Readable Zone	Machine Readable Zone is that are of a travel document such as a passport that can be read electronically via use of various techniques, e.g., optical scanners. See ICAO 9303.		New	
Machine Readable Zone	The area of a document that contains machine readable information.		New	
Magnetic Stripe	A stripe of magnetic material affixed to the back of a Computer Ticket or an Automated Ticket/ Boarding Pass or Credit Card, on which most of the data relevant to that document is magnetically encoded, and is machine readable.		IATA PSCRM	RP1008
Mail	All types of material communications carried on an aircraft, e.g. General Post Office mail, diplomatic mail, military mail and company (airline) mail.		IATA SSIM	
Main Host	The system that processes and replies to the transaction initiated by the front end system.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Mandatory	In EDIFACT IATA PADIS documentation, mandatory means that the first occurrence of a group, segment, composite, or data element must be included.	PADIS	New	
Mandatory	In Electronic Ticketing and Electronic Miscellaneous Documents Resolutions, mandatory indicates that the data must be provided at all times.	Ticketing	New	
Mandatory	The status of a data element, or EDIFACT segment composite data element, simple data element or component data element, marked M, containing information which forms a fundamental part of the procedure and must always be included.	EDIFACT	IATA SSIM	
Marketing Carrier	The carrier that sells with its own code as part of a code-share agreement on a flight actually operated by another carrier.	All	IATA SSIM	
Married Segments	Married segments is a term used to identify two or more segments in an itinerary which are actioned as a single unit (set). Acceptance and sending of marriage information is controlled by bilateral agreements. See IATA Recommended Practice 1777 and 1777a.		IATA PSCRM	RP1008

Married Segments	Married segments is a term used to identify two or more segments in an itinerary which are actioned as a single unit (set). Acceptance and sending of marriage information is controlled by bilateral agreements. See IATA Recommended Practice 1777 and 1777a.		New	
MAS	Based on bilateral agreement, message identifier used to provide numeric AVS. See AIRIMP for detailed information.		New	
Maximum Permitted Mileage (MPM)	Maximum permitted mileages as established in accordance with Resolution 011.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
MCO	See "Miscellaneous Charges Order"		New	
MCT	See "Minimum Connecting Time".		IATA SSIM	
Meal	Type of refreshment or food service served in flight. This may vary according to class of service and time of day. Meal codes are typically a single alpha character which appear in an availability display.		IATA PADIS 07.1	
Member in Control of Passenger	The Member or the CRS with whom a passenger is presently doing business locally and with respect to whom the passenger has become a local passenger, or the Member whose service will next be used by a passenger en route.		IATA PSCRM	Reso766
Message	An identified, named, structured set of functionally related data segments as described in a message specification which is defined to accomplish one or more business functions. See also "Transaction".	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Message (EDIFACT)	An identified, named and structured set of functionally related data segments as described in a message specification which is defined to accomplish one or more business functions.		IATA SSIM	
Message Header (EDIFACT)	The service segment starting and uniquely identifying an EDIFACT message.		IATA SSIM	
Message Trailer (EDIFACT)	The service segment ending an EDIFACT message.		IATA SSIM	
Mileage Display	Display of point to point mileage between two cities.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Minimum Connect Time	The minimum time required for a passenger to connect to another flight within the same city. The airport may be the same airport or a different airport within the same city.		New	
Minimum Group Size	The minimum number of passengers required to qualify for a fare.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Minimum Tour Price (MTP)	The minimum selling price for the tour calculated as the air fare plus an amount for land arrangements.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Miscellaneous Charges Order (MCO)	"Miscellaneous Charges Order"(MCO) means an accountable paper document issued by a carrier or its agents requesting issue of an appropriate Passenger Ticket and Baggage Check or provision of services to the person named in such document (see Resolutions 725, 725a and 725b). Typically used for such things as group deposits, excess baggage, optional services, etc. See "Electronic Miscellaneous Document" for the electronic equivalent of MCO.		IATA PSCRM	RP1008
Misconnection	A passenger who, due to late arrival or non-operation of his original delivering flight, arrives at the interline point by his original delivering flight, an alternative flight or surface transportation, too late to board his original receiving flight. See Resolution 766.		IATA PSCRM	Reso766

Misconnection	A passenger who, due to late arrival or non-operation of his original delivering flight, arrives at the interline point by his original delivering flight, an alternative flight or surface transportation, too late to board his original receiving flight. See Resolution 766.		IATA PSCRM	RP1008
Misconnection	A passenger who, due to late arrival or non-operation of his original delivering flight, arrives at the intermediate point by his original delivering flight, an alternative flight or surface transportation, too late to board his original receiving flight. See IATA Resolution 766.		New	
Months	For definition of "Month(s)" as related to ticket validity, see IATA Resolution 735.	Ticket	IATA PSCRM	RP1008
Movement	The arrival or departure of an aircraft.		IATA SSIM	
MPD	See "Multi Purpose Document".		New	
MPM	See "Maximum Permitted Mileage".		New	
MRTD	See "Machine Readable Travel Document".		New	
MRZ	See "Machine Readable Zone".		New	
MRZ	See "Machine Readable Zone".		New	
Multi Access	A system which allows travel agents to switch their terminals between different airline systems, and thus have true last seat availability from a number of different airlines.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Multi-Access System	A System which enables a user to have real time access to a variety of airline Systems through a common switching centre and/or interface. See also "Direct Access" and "Single Access System".		IATA PSCRM	Reso766
Multi-Access System	A System which enables a user to have real time access to a variety of airline Systems through a common switching centre and/or interface. See also "Direct Access" and "Single Access System".		IATA PSCRM	RP1008
Multi-Access Ticketing	A system whereby a Travel Agent with a video display unit (VDU) and a ticket printer has access to the reservations and ticketing systems of more than two airlines, and the Agent can issue tickets of those airlines on its ticket printer.		IATA PSCRM	RP1008
Multi-Host System	A system that provides more than one airline with the facility to process, on an inventory basis, reservations and other passenger related functions.		IATA PSCRM	Reso766
Multi-Host System	A system that provides more than one airline with the facility to process, on an inventory basis, reservations and other passenger related functions.		IATA PSCRM	RP1008
Multi-lateral agreement	An agreement between three or more trading partners to either send data and/or process data in specified manner.		New	
Multiple Purpose Document	A form used for automated issuance of interline accountable traffic documents other than the Passenger Ticket and Baggage Check. It is described in Resolutions 726, 726a and 726b. It is a multi-copy carbonized form or a document issued coupon-by-coupon for use by carriers and travel agents.		IATA PSCRM	RP1008
NAC	A sub-message in ASM/SSMs advising the sender of the original message that the message content has not been successfully processed in the recipient"s system (no action).		New	
Name	Field defined in a PNR to record the name(s), initials and title(s) of the passenger(s) holding the booking.		IATA PADIS 07.1	
National	A person who has the citizenship of a country, either by birth or by naturalization	Tariff	IATA Tariff	Reso 012

National	A person who has the citizenship of a country, either by birth or by naturalization.		IATA PSCRM	RP1008
Neutral Ticket	The form of an electronic ticket or paper Automated Ticket for use by Travel Agents. In the case of paper tickets, there is no preprinted individual airline identity.		IATA PSCRM	RP1008
Neutral Ticketing Scheme	A computer system that issues Neutral Tickets in a Travel Agent"s office on behalf of various airlines participating in that scheme. See "Ticket Handler".		IATA PSCRM	RP1008
No Record	A condition which exists whenever a passenger presents a ticket for reserved space but the boarding Member has no record of ever confirming or receiving booking for that reserved space. "See NOREC".		IATA PSCRM	Reso766
Non-Carrying Member	A Member who will not participate in itinerary but may handle passenger"s reservation.		IATA PSCRM	Reso766
Non-IATA Carrier	Any carrier who is not a Member of IATA.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Non-Operational (commercial) Leg	See "Operational Leg".		IATA PSCRM	RP1008
Non-Operational (commercial) Leg	See "Operational Leg".		IATA SSIM	
Non-Participating Member	Same as non-carrying Member.		IATA PSCRM	Reso766
Non-Stop	Flight which operates between a board point and an off point in a single leg without any intermediate landings.		IATA PADIS 07.1	
Non-TC Member	A Member of IATA who has elected not to participate in Tariff Coordinating Conferences.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
NOREC	No record. A passenger who was boarded on a flight and was ticketed for that flight, but was not on the PNL/ADL.		IATA PSCRM	RP1719
Normal Fare	A fare established in the Resolution 040/050/060 series for intermediate, first or economy class service and any other fare denominated and published as a normal fare (e.g. C2, F2, Y2). Children's fares and infants' fares which are established as a percentage of the fares referred to above are also considered to be normal fares.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Normal Fare Open Jaw	Travel from one country and return thereto, comprising two international fare components, only and where a) **origin open jaw:** the outward point of departure in the country of unit origin and the inward point of arrival in the country of unit origin are different OR b) **turnaround open jaw:** the outward point of arrival and the inward point of departure are different OR c) **double open jaw**: the outward point of departure in the country of unit origin and the inward point of arrival in the country of unit origin are different (origin jaw) AND the outward point of arrival and the inward point of departure are different (turnaround open jaw)	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
North America	Canada, Mexico, USA	Tariff	IATA Tariff	Reso 012

NOSHO	No show. A passenger who had a reservation on a flight and is shown on the PNL/ADL but who failed to use the reservation for reasons other than misconnect. This category also excludes .ID2/ passengers.		IATA PSCRM	RP1719
No-Show	A failure to use reserved accommodation for reasons other than misconnections. See "NOSHO".		IATA PSCRM	Reso766
No-Show	A failure to use reserved accommodation for reasons other than misconnections. See "NOSHO".		IATA PSCRM	RP1008
Notice of Contract Terms Incorporated by Reference	The terms and conditions shown on the Passenger Ticket and Baggage Check.		IATA PSCRM	RP1008
NOTOC	Notification to Captain.		New	
NRL	New Record Locator.		New	
NUC	The neutral unit of construction.		IATA Tariff	Reso 012
Numeric AVS	In addition to standard AVS defined under the term AVS, systems may send availability messages indicating the number of seats available for sell on a flight. This type of AVS is called Numeric AVS.		IATA PADIS 07.1	
Numeric PNL	A PNL containing values but no names. See IATA PSCRM resolution 1708.		IATA PSCRM	RP1707b
O&D	Origin and Destination. When applied within a revenue management system, it is a term used to define controls and processes used to maximize revenue for a market.		New	
OA	Other airline.		New	
OAG	Official Airlines Guide. Publisher of schedules information in both paper and electronic form.		IATA PADIS 07.1	
OCR	See "Optical Scanning".		New	
Off Point	See "Deplaning Point".		IATA SSIM	
Off-Premise Location	Any non airline location where automated tickets are issued, e.g. an approved location of a passenger sales agent or a commercial account.		IATA PSCRM	RP1008
Off-Premise Ticket	A ticket described in Resolution 722a and intended for use by Travel Agents, whether or not this bears a preprinted individual airline identity.		IATA PSCRM	RP1008
Off-Premise Transitional Automated Ticket" (OPTAT)	Either form of automated ticket, normally issued by agents, described in Resolution 722a. It is a multi-copy carbonised ticket.		IATA PSCRM	RP1008
On Time Performance	A requirement of some regulatory authorities to include an indicator of the average punctuality performance of the airline operating flights. This is usually represented as a single digit on an availability and provides a truncated percentage of flights arriving on-time.		IATA PADIS 07.1	
One Way Subjourney	Part of a journey wherein travel from one country does not return to such country and for which the fare is assessed as a single pricing unit using a one way fare.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
On-line	Indicates within one airline or one system, or connected to a computer system.		IATA PSCRM	RP1008
On-line Connection	See "Connection".		IATA SSIM	
On-line or Intraline	Used in conjunction with another word to describe anything involving carriage over the airline's own company only, such as an on-line itinerary, on-line reservation, on-line stopover, on-line connection, etc. The term "intraline" is seldom used.		IATA PSCRM	Reso766

On-Line Transfer	Transfer from the service of one carrier to another service of the same carrier. See "Connection".		IATA Tariff	Reso 012
OPEN	A term used to specify in a PNR and on a ticket that specific flight is not booked but that the passenger will travel by air and has paid for a flight.		New	
Open Ended Schedule	A schedule submitted for processing without an end date. It is assumed that the schedule will be active indefinitely.		New	
Open Jaw - (Special Fares)	Travel comprising only two international fare components with a surface break(s) which, unless otherwise specified in a special fares resolution, may be between any two points/countries in the area(s) of unit origin and/or turnaround for which the special fare resolution applies and for which the fare is assessed as a single pricing unit using half round trip fares. In this context a) for 'turnaround open jaw' the outward point of arrival and the inward point of departure are different, or b) for 'origin open jaw' the outward point of departure and the inward point of arrival are different, or c) for 'single open jaw' either a) or b) applies, or d) for 'open jaw' any combination of the above may apply	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Open Seat	A seat that is available for assignment to passengers.		New	
Open Seating	Flights designated as open seating flights do not allow assignment of specific seats to passengers before boarding.		New	
OpenTravel Alliance	A not for profit industry organization chartered to develop XML messages for the travel industry.		New	
Operating Carrier	The Carrier that holds the Air Operator's Certificate for the aircraft used for that flight. The airline actually providing carriage or other services incidental to such air carriage. The Operating Carrier may be different from the Marketing Carrier in situations where bilateral agreements exist, e.g. code share agreement.		IATA PADIS 07.1	
Operating Carrier	The Carrier that holds the Air Operator's Certificate for the aircraft used for that flight. The airline actually providing carriage or other services incidental to such air carriage. The Operating Carrier may be different from the Marketing Carrier in situations where bilateral agreements exist, e.g. code share agreement.	All	IATA SSIM	
Operation	The act of a transport vehicle traveling from point to point.		IATA SSIM	
Operational Leg	A flight leg which is physically operated and identified by its Airline Designator and Flight Number. Any other Airline Designators and/or Flight Numbers associated with the same flight leg are considered to be non-operational flight legs. For further guidance, see also IATA SSIM Appendix H: Duplicate Flight Legs.		IATA SSIM	
Operational Leg	A flight which is physically operated and identified by its airline designator and flight number. Any other airline designators and/or flight numbers associated with the same flight are considered to be non-operational flights.		IATA PSCRM	RP1008
OPTAT	See "Off-Premise Transitional Automated Ticket" (OPTAT).		New	

Optical Character Recognition (OCR)	A machine readable system for reading of traffic document numbers using a machine readable type font.		IATA PSCRM	RP1008
Optical Scanning	Machine reading by means of optical devices such as light pen or OCR equipment.		IATA PSCRM	RP1008
Option Number	For purposes of maintaining inventory integrity, option number is used to match or reconcile interactive inventory sell action across a link with the remainder of the PNR information contained in a subsequent AIRIMP message.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Optional	In Electronic Ticketing and Electronic Miscellaneous Documents Resolutions, optional means that the data may or may not be provided.	Ticketing	New	
Optional	The status of a data element, marked O, which may be omitted if not required by the carrier or by Governmental regulations. Omission of this element is independent of all other elements and does not have any effect on other elements.		IATA SSIM	
Origin	The initial starting place of the journey as shown on the ticket.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Originating Flight	A flight identified by a Flight Designator, commencing at the station in question.		IATA SSIM	
Originating Member	Member transporting passenger over first portion of itinerary.		IATA PSCRM	Reso766
OSI	Other Service Information (OSI) is service information which is for information only, may be processed by the receiver as desired, and does not require a reply from the receiver. OSI should be used only if an SSR code is not available.	PNR	IATA AIRIMP	
OSI	Other Service Information. A PNR element which enables information of a general nature to be passed between systems.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
OSI	Other Service Information. A PNR element which enables information of a general nature to be passed between systems.		New	
Other Charges	Charges such as taxes, fees etc., excluding excess baggage charges.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Other Service Information.	See "OSI".		New	
OTHS	An SSR type used to supply other miscellaneous information.		New	
Over-booking	A condition which exists when more seats have been booked on a flight than seats allowable for sale.		IATA PSCRM	Reso766
Oversale	A condition which occurs when a passenger who has a valid completed ticket or of whom the airline has a positive reservation record, is not accommodated at flight departure, or is carried but not in the accommodation reserved.		IATA PSCRM	Reso766
Owning Carrier	A carrier who is the owner or lessee of a Unit Load Device.		IATA AHM	810
PADIS	Passenger and Airport Data Interchange Standards. An IATA committee responsible for development of EDIFACT messages and XML schemas.		New	
PAL	The PAL is sent by Reservation Systems to specified addresses for EU airports to provide names and boarding information for passengers with reduced mobility (PRM). The CAL is sent by Reservation Systems to EU airports to update data sent on the PAL or previous CALs.		IATA PSCRM	RP1707b RP1708

Participating Airlines	Those airlines that distribute their products using a CRS/GDS.	Distribution	New	
Participating Airlines	Those airlines which are party to the IATA Multilateral Interline Traffic Agreement — Passenger and have entered into an agreement for the issuance of Automated tickets in a particular country/area.	Ticketing	IATA PSCRM	RP1008
Participating Member	Same as "Carrying Member".		IATA PSCRM	Reso766
Passenger	Any person carried on an aircraft and covered by a ticket.		IATA SSIM	
Passenger	Any person, except members of the crew, carried or to be carried in an aircraft with the consent of carrier.		IATA PSCRM	RP1008
Passenger Lists	Various types of lists of passengers for reservation and departure control purposes.		New	
Passenger Name Record (PNR)	A record of each passenger"s travel requirements which contains all information necessary to enable reservations to be processed and controlled by the booking and participating airlines. The basic record may contain one or more passengers. Although different systems provide varying facilities, all PNRs contain at least passenger name(s), itinerary, and contact information. May other fields may be present such as fare, ticketing, seat selection, etc.		IATA PSCRM	RP1008
Passenger Type Code (PTC)	A code typically used to identify the type of passenger, e.g., adult, infant, etc. PTC is often used to identify the type of fare.		New	
Passengers	Includes the Carrier's service and free passengers.		IATA AHM	810
PAXLST	A UN defined EDIFACT message used to convey APIS information. See "APIS".			
Payload	The weight of passengers, baggage, cargo and mail and includes revenue and non-revenue items.		New	
PCI	Payment Card Industry (PCI). Payment Card Industry Data Security Standard (PCI DSS). The PCI DSS is a multi-faceted security standard for protection of credit card information that includes requirements for security management, policies, procedures, network architecture, software design and other critical protective measures. The PCI DSS can be found at https://www.pcisecuritystandards.org/tech/index.htm .		New	
PDP	See "Pre-designated Point".		New	
PECTAB	Parametric Table. A file containing multiple printer parameters that is loaded into certain peripheral devices memory by application software, usually during initialization. PECTABs define how host data appears as output, or is read as input. Standards for PECTAB are controlled by the AEA.		New	
Person with Reduced Mobility	A term defined by the EU to describe a „disabled person" or „person with reduced mobility" whose mobility when using transport is reduced due to any physical disability (sensory or locomotor, permanent or temporary), intellectual disability or impairment, or any other cause of disability, or age, and whose situation needs appropriate attention and the adaptation to his or her particular needs of the service made available to all passengers. See terms CAL and PAL.		New	
PEX	Instant Purchase Excursion Fares	Tariff	IATA Tariff	Reso 012

PFS	Passenger Final Sales. List of passengers and related data sent at flight close out from a Departure Control system to a Reservations system, containing deviations from the PNL/ADL for this station. The message conforms to the format described in IATA PSCRM Resolution 1719.		IATA PSCRM	RP1707bR P1719
PIL	The PIL is a teletype message geneerated by the DCS for the local cabin crew to advise special information about passengers on board.		IATA PSCRM	RP1707b RP1716
PIN	Unique Personal Identifier Number sometimes used with or instead of a password		New	
Pitch, Seat	The distance between the front edge of one seat in an aircraft and the front edge of the seat immediately in front when both are in an upright position.		IATA PSCRM	RP1008
PKI	See "Public Key Infrastructure".		New	
PNL	Passenger Name List. List of passengers and related data sent from a Reservations system to a Departure Control system for a flight date. Conforming to the format described in IATA PSCRM resolution 1708.		IATA PSCRM	RP1707b RP1708
PNR	See "Passenger Name Record".		IATA PADIS 07.1	
PNR	See "Passenger Name Record".		IATA PSCRM	Reso766
PNR	See "Passenger Name Record".		New	
PNR Address	Equivalent to "PNR locator". A term used to designate an alpha-numeric code referring to a specific area in the memory of an automated reservations system in which a given Passenger Name Record (PNR) is stored.		IATA PSCRM	Reso766
PNR Data Exchange	The communication of PNR data between airline/airline service suppliers and their trading partners using Electronic Data Interchange (EDI). The IATA/EDIFACT messages are PNRREQ/PNREXC.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
PNR End Transaction	Functionality to complete a creation or update session on a PNR. End transaction produces a new or modified record stored in the passenger record database.		New	
PNR Locator	See "PNR Address".		New	
Point of Sale	Information identifying the location and other attributes of the entity performing transactions. Point of sale may be considered by some systems when making inventory and availability decisions.		New	
Point of Turnaround	The farthest geographical fare break (between two fare components) from the Pricing Unit origin.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Portion	One segment or consecutive segments (even though gap intervenes) via any one Member.		IATA PSCRM	Reso766
Pre-designated Point	Pre-designated Point for message transmission. A central teletype address used by an airline to receive PNR messages from other industry entities.		New	
Pre-flight Check	An internal procedure in which a Member checks its reservations records to eliminate duplicate reservations, incorrect recording, or other errors.		IATA PSCRM	Reso766
Prepaid Ticket Advice	The notification by teletype, commercial wire or mail that a person in one city has requested issuance of prepaid transportation as described in the authority, to a person in another city.		IATA PSCRM	RP1008
Preprinted Document Number	A document number that is preprinted on the traffic document at the time of manufacture.		IATA PSCRM	RP1008

Pricing Information	The applicable fare(s) for a city pair and the selected fare for a PNR. Also, it is the fare data stored in a PNR related to the fare structure of a specific itinerary.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Pricing Unit	A journey or part of a journey which is priced as a separate entity, i.e. is capable of being ticketed separately	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Prime Host Airline (carrier)	The airline which controls the System in which other airlines are hosted.		IATA PSCRM	Reso766
Prime Host Airline (carrier)	The airline which controls the System in which other airlines are hosted.		IATA PSCRM	RP1008
Private Fares	Fares that can be sold only by selective channels.		New	
PRL	The PRL is a teletype message generated by the DCS as a total recap of all locally boarded passengers at this station.		IATA PSCRM	RP1707b RP1719b
PRM	IATA Passenger Reservations Manual.		IATA SSIM	
PRM	See "Person with Reduced Mobility".		New	
Prorate	A portion of a joint fare, rate or charge obtained by proration.		IATA PSCRM	RP1008
Proration	The division of a joint fare, rate or charge between the carriers concerned on an agreed basis.		IATA PSCRM	RP1008
Proration, Fare	Proration on the basis of the respective local fares.		IATA PSCRM	RP1008
Proration, Mileage	Proration on the basis of the respective local mileages.		IATA PSCRM	RP1008
Proration, Rate	Proration on the basis of the respective local rates.		IATA PSCRM	RP1008
Protecting Reservation	A tentative reservation on a Member other than one originally preferred by passenger and subject to cancellation or change to definite status on demand of Member holding the tentative reservation in accordance with applicable procedures.		IATA PSCRM	Reso766
Provide	"Provide" implies that the Handling Company itself assumes responsibility for the provision of the service in question.		IATA AHM	810
PSC	IATA Passenger Services Conference.		IATA SSIM	
PSM	The PSM is a teletype message generated by the DCS to the next downline station to advise of disembarking or transit passengers who require assistance or special services.		IATA PSCRM	RP1707b RP1715
PTA	See "Prepaid Ticket Advice".		New	
PTC	See "Passenger Type Code".		New	
PTM	The PTM is a teletype message generated by the DCS to the next downline station to advise of passengers and baggage that is transferring to other fights at their station.		IATA PSCRM	RP1707b RP1718
Public Fares	Fares that can be sold by all channels.		New	
Public Key Infrastructure	Public Key Infrastructure is a combination of software, hardware & processes s used to create, manage, distribute, use, store and revoke digitally issued certificates		New	
Qualifier	A data element whose value, extracted from a code list, gives specific meaning to the function of another data element or a segment.		IATA SSIM	
Quality Control	The method of reviewing performed work to determine if a particular function is being accomplished accurately and in accordance with established procedures.		IATA PSCRM	Reso766
Quota sale	The amount of space that a distribution system is allowed to sell from the inventory of a vendor in a single transaction on a sell and report basis. This is usually dependent on class of service, but could also depend on other variables such as date, routing, etc. Quota sale levels are decided by bilateral negotiations between vendors and distribution systems or between different vendors (airline to airline).	PADIS	IATA PADIS 07.1	

Quote Availability Agreement	A bilateral or multilateral agreement between Members which permits each signatory to book another Member"s space by checking the required flight"s availability through local or toll-free telephone access and sending an appropriate message to the Member concerned.		IATA PSCRM	Reso766
Radio-frequency identification	Radio-frequency identification (RFID) is the use of an electronic object applied to or incorporated into a product for the purpose of identification and tracking. The technology includes two parts: an integrated circuit to store and process information and an antenna to transmit and/or receive information. This type of technology may be used in various airline processes such as baggage and catering.		New	
Rate	The amount charged by the carrier(s) for the carriage of a unit of goods or excess baggage and is the current rate which the carrier, in the publication it normally uses to publish rates, holds out to the public or the appropriate segment of the public, as being applicable for carriage of a unit of weight (or volume) and/or value of goods or excess baggage.		IATA PSCRM	RP1008
Rate, Class	A rate applicable to a specifically designated class of goods.		IATA PSCRM	RP1008
Rate, Constructed	A rate, other than a specified rate.		IATA PSCRM	RP1008
Rate, Joint	A rate which applies for carriage over the lines of two or more carriers and which is published as a single amount.		IATA PSCRM	RP1008
Rate, Local	Equivalent to the term "On-line Rate". A rate which applies for carriage over the lines of a single carrier.		IATA PSCRM	RP1008
Rate, On-line	See "Rate, Local".		IATA PSCRM	RP1008
Rate, Proportional	A rate which is used in combination with other rates to establish a through rate.		IATA PSCRM	RP1008
Rate, Published	A rate, the amount of which is specifically set forth in the publication the carrier normally uses to establish such rates.		IATA PSCRM	RP1008
Rate, Sectional	The rate established and used by a scheduled air carrier(s) (including any local or joint rate) for a section of a through route.		IATA PSCRM	RP1008
Rate, Specified	A rate specifically set forth in an IATA Traffic Conference Resolution.		IATA PSCRM	RP1008
Rate, Through	The total rate from point of departure to point of destination.		IATA PSCRM	RP1008
Rates, Combination of	An amount which is obtained by combining two or more rates.		IATA PSCRM	RP1008
RBD	See "Reservations Booking Designator".		New	
Real-time	A computer system which processes the input and gives a response immediately or within seconds.		IATA PSCRM	RP1008
Rebooking	In reservations, refers to the change of a reservation for various reasons which may or may not require a new fare and/or ticket reissuance.		New	
Rebooking	In tariffs, refers to the change of reservation and /or other changes which do not require ticket reissuance	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Receipt, Passenger	For ATB, the portion of the Automated Ticket/Boarding Pass (ATB) that constitutes the passenger"s printed evidence of the contract of carriage. For electronic tickets, see "Itinerary Receipt".		IATA PSCRM	RP1008
Receiving Carrier	A carrier who receives a Unit Load Device from a transferring carrier at a transfer point.		IATA AHM	810
Receiving	The Member on whose flight a passenger is to be		IATA PSCRM	Reso766

Member	carried from an interline point or gap.			
Recommended Practice	Term used to define set of recommended rules related to a particular subject as defined in various IATA manuals, e.g., IATA PSCRM Manual.		New	
Reconfirmation	A requirement that passengers, under certain given circumstances, advise a carrying Member of their intention to use the space reserved (See IATA IATA PSCRMRM Resolution 766).		IATA PSCRM	RP1008
Reconfirmation	A requirement that passengers, under certain given circumstances, advise a carrying Member of their intention to use the space reserved.		IATA PSCRM	Reso766
Record Locator	In AIRIMP messages, the record locator is composed of the booking office, the location of record and the point of sale information. See the AIRIMP manual for complete details.		IATA PSCRM	Reso766
Record Locator Return	The process of advising the originator of the responding systems record locator.		IATA PADIS 07.1	
Reduce	Function to return part of the booked inventory in a PNR, canceling some, but not all passengers in a PNR		IATA PADIS 07.1	
Refund	The repayment to the purchaser of all or a portion of a fare, rate or charge for unused carriage or service (See IATA PSCRM Resolutions 735d and 737).		IATA PSCRM	RP1008
Regulatory Authorities	Generic term used to describe bodies that control various aspects of the airline industry, e.g., European Union (EU) for "Passengers with Reduced Mobility".		IATA PADIS 07.1	
Related Charges	Charges such as cancellation penalties, non-refundable amounts, rebooking and rerouting charges, stopover charges, weekend surcharges etc., and excess baggage charges.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Rerouting	Change of routing and /or other changes which require ticket reissuance.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Rerouting	With respect to a passenger, a change of route, fare, carrier, type of aircraft, class of service, flight or validity from that originally provided in the appropriate transportation document.		IATA PSCRM	RP1008
Reservation	Equivalent to the term “Booking”, means the allotment in advance of seating or sleeping accommodation for a passenger or of space or weight capacity for baggage, cargo or mail. This term is also applied to hotel, car and other types of travel services.		IATA PSCRM	RP1008
Reservation	Equivalent to the term “Booking”, means the allotment in advance of seating or sleeping accommodation for a passenger or of space or weight capacity for baggage, cargo or mail. This term is also applied to hotel, car and other types of travel services.		IATA SSIM	
Reservations	Equivalent to the term “Booking”, means the allotment in advance of seating or sleeping accommodation for a passenger or of space or weight capacity for baggage, cargo or mail. This term is also applied to hotel, car and other types of travel services.		IATA Tariff	Reso 012
Reservations Booking Designator	The code used in reservations transactions to identify a compartment on an aircraft and/or a special inventory control. It is the booking class usually determined by the fare basis. The RBDs are typically represented by alphabetic characters. These codes are shown in the ATA/IATA Reservations Interline Message Procedures — Passenger (AIRIMP).		IATA PSCRM	Reso766

Reservations Control Carrier	The airline which controls the reservations for a flight. This may be used in joint operation or pool flights.		IATA SSIM	
Reserved Seat	A seat that has been set aside for a special purpose including groups, advanced seat reservations (ASR) passengers and courtesy seats for infants, bulk items or service animals.		New	
Resident	A person legally living in a given country.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Resident	With respect to a country, a person normally living in such country, whether or not the person is a national.		IATA PSCRM	RP1008
Reso	Abbreviation for IATA PSCRM "Resolution".		New	
Resolution	Term used to define set of rules related to a particular subject as defined in various IATA manuals, e.g., IATA PSCRM Manual.		New	
Resubmission			New	
Retransmission	A term used to imply a procedure of ??????		New	
Return Journey	See “Trip, Round”.		IATA PSCRM	RP1008
Return Subjourney	Part of a journey wherein travel is from a point/country and return thereto and for which the fare is assessed as a single pricing unit using half round trip fares - round trip, circle trip, normal fare open jaw; also applicable to special fare open jaw returning to the same or another country.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Revalidation	The authorized stamping or writing upon the Passenger Ticket evidencing that it has been officially altered by the carrier.		IATA PSCRM	RP1008
Revenue Management	See "Yield Control".		New	
RFID	See "Radio Frequency Identification".		New	
Rotation	The operation of consecutive legs with the same aircraft irrespective of the Flight Designator(s).	Schedules	IATA SSIM	
Round Robin Flight	A flight traveling A - B - A. The origin and final destination are the same station.		New	
Round the World (RTW)	Travel from a point and return thereto which involves only one crossing of the Atlantic Ocean and only one crossing of the Pacific Ocean.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Round Trip	Travel entirely by air from a point to another point and return to the original point comprising two half round trip fare components only, for which the applicable half round trip fare for each component, measured from the point of unit origin, is the same for the routing traveled; provided that this definition shall not apply to round the world travel. If the fares to be used differ through class of service/seasonality/day-of-week/carrier variations, the outbound fare shall be used also for the inbound fare component for the purpose of determining if the pricing unit is a round trip.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Route, Direct	The shortest route operated between two points.		IATA PSCRM	RP1008
Route, Indirect	Any route other than the direct route operated between two points.		IATA PSCRM	RP1008
Route, Through	The total route from point of departure to point of destination.		IATA PSCRM	RP1008
Routing	A list of consecutive legs in operational sequence between the station of origin and the station of destination of any flight.		IATA SSIM	
RP	Abbreviation for IATA PSCRM "Recommended Practice".		New	
RQL	Request for PNL. Teletype message sent to request that a PNL be generated. Described in IATA IATA PSCRM Resolution 1709.		PSCRMR	RP1707b RP1709

RVR	Based on bilateral agreement, may be used to request an availability status recap for codeshare numeric availability. See AIRIMP for full details.		New	
SAL	The SAL, when used, is a teletype message generated by the Reservation system to each station of a flight to advise details of available, sellable space by DCS.		IATA PSCRM	RP1707b RP1713
SC (Schedules Conference)	A forum organized by IATA for the coordination of airline schedules held twice yearly to coincide with the commercial aviation industry"s two scheduling seasons.		IATA SSIM	
Scan	Function to cause a search of schedules database to be made over an extended period where the system is unable to satisfy an original display request for a specified date.		IATA PADIS 07.1	
Scan Area	The area within the scan band which contains only specified printing to be optically scanned.		IATA PSCRM	RP1008
Scan Band	The area across the width of a traffic document not less than 1.588 cm (0.625 in) in height from the bottom of the document.		IATA PSCRM	RP1008
Scandinavia	Denmark, Norway, Sweden	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Scattershot	The procedure of handling reservations transactions by dealing with one or more offices independently of other offices and which results in one or more offices not having knowledge of the passenger"s complete remaining itinerary including the current status of each remaining segment (see IATA IATA PSCRMRM Resolution 766).		IATA PSCRM	RP1008
Scattershot	The procedure of making reservations transactions by dealing with one or more airline offices, or CRSs, independently of other airline offices, or CRSs, and which results in one or more airline offices, or CRSs, not having a record of the passenger"s complete remaining itinerary including the current status of each segment.		IATA PSCRM	Reso766
Schedule	The planned operation of an airline flight(s).		New	
Schedule Change	Any modification to the operation of a flight which may require passenger notification. This may be a change in arrival or departure times, flight number or class of service, frequency of operation or airports served, etc. A change in arrival or departure time, as a result of a city"s conversion to or from Daylight Time also constitutes a schedule change. There is no change when the only factor is conversion to or from Daylight Time, with departure and arrival times remaining the same in terms of local time.		IATA PSCRM	Reso766
Schedule Display	The same general information as an availability display, but may or may not contain availability status.		IATA PADIS 07.1	
Scheduled Air Service	A series of flights possessing the following characteristics: (a) performed by aircraft for the transport of passengers and/or cargo for remuneration, in such a manner that its services are available, directly or indirectly, to the general public; and (b) operated so as to service traffic between the same two or more points, either: (i) according to a published timetable, or (ii) with flights so regular or frequent that they constitute a recognizably systematic series.		IATA PSCRM	RP1008
Scheduled Air Service	A service offered by an airline which is displayed in an official airline guide, has a two-character or three-letter airline designator, and operates between points having three-letter city/airport codes.		IATA PSCRM	Reso766

Scheduled Carrier	The carrier under which the transportation service is marketed or sold.		IATA PADIS 07.1	
Schedules Facilitator	A person appointed by the appropriate authority to collect and review airline schedules at Level 2 airports, and to recommend schedule adjustments as necessary.		IATA SSIM	
Schedules Information Standards Committee	The IATA Schedules Information Standards Committee (SISC) is responsible for the development of standard schedules data procedures and formats for the exchange of schedules information, maintained within the Standards Schedules Information Manual (IATA SSIM). SISC meets prior to the Schedules Conference twice yearly.		New	
Schengen Agreement	Schengen Agreement applies to the abolition of national border controls between the participating European countries. Border posts and checks have been removed between the members allowing cross border travel without border controls. This generally affects Minimum Connect Times (MCT).		New	
SCR	See IATA "Systems and Communication Reference" manual.		New	
Seamless Availability	The availability display exchanged between partners with Seamless Connectivity.		IATA PADIS 07.1	
Seamless Connectivity	Interactive conversation between systems utilizing one or more approved message formats, such as EDIFACT Standards as adopted by the Industry under IATA PADIS Board procedures.		IATA PADIS 07.1	
Seamless Connectivity	Interactive conversation between systems utilizing one or more approved message formats, such as EDIFACT Standards as adopted by the Industry under IATA PADIS Board procedures.		IATA PSCRM	RP1008
Seamless Connectivity Link	Any link (direct, indirect, switched, virtual, on-demand) via any path, media or technique which is capable of providing Seamless Connectivity, as defined in "Seamless Connectivity". No limit on communications path, media, or technique is intended or implied.		IATA PSCRM	RP1008
Seamless Sell	The sell/waitlist/request messages exchanged between partners with Seamless Connectivity. Airlines and/or CRSs may elect to apply Seamless Connectivity for some or all sell/waitlist/request messages. Any such sell/waitlist/request from an availability display, however constructed, or any direct segment sell/waitlist/request should be sent and responded to via the Seamless Connectivity Link.		IATA PADIS 07.1	
Seat Assignment	A specific seat and row number reserved or allocated for a specific passenger.		IATA PADIS 07.1	
Seat Map	Display which indicates availability status and/or characteristics of specific seats for a given flight/date. This typically contains information about class compartments, location of movie screens, smoking/no smoking divisions, etc., as well as, an indication of which seats have been reserved assigned /advance boarding pass issued and which are still available.		IATA PADIS 07.1	
Secretary	The Secretary of the Tariff Conferences.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Sector	See "Leg".	Schedules	IATA SSIM	
Secure Credential	A Secure Credential is an identity management document such as ePassports and eVisas containing biometrics, thus ensuring that the person presenting the passport is the true owner of the identity they claim.		New	

Secure Flight	A passenger pre-screening program being developed by the US Transportation Security Administration (TSA). Secure Flight involves the submission of a limited amount of passenger reservation information by an aircraft operator to TSA for watch list matching purposes. Aircraft operators currently match passenger reservation data against a watch list extract provided by TSA. Through the Secure Flight program, the TSA will assume responsibility for this function from aircraft operators.		New	
Segment	Sometimes referred to as "City Pair". The operation between board point and any subsequent off point within the same flight number.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	
Segment	Sometimes referred to as "City Pair". The operation between board point and any subsequent off point within the same flight number.		IATA PSCRM	Reso766
Segment	Sometimes referred to as "City Pair". The operation between board point and any subsequent off point within the same flight number.		IATA SSIM	
Segment	In EDIFACT, an identified, named and structured set of information composed of related composite and/or simple data elements as described in a segment specification section of the IATA PADIS Message Standards.	EDIFACT	IATA SSIM	
Segment Availability	For segment availability, all segment availability status changes on all or selected flights are sent. AIRIMP defines rules for interpreting the availability.		IATA PSCRM	RP1773
Segment Tag	A 3-alpha unique identifier to distinguish the one EDIFACT segment from another.	EDIFACT	IATA SSIM	
Segment Terminator	A service character indicating the end of a EDIFACT segment, i.e., the character '.	EDIFACT	IATA SSIM	
Selectee	A passenger who is subject to additional security screening before they are permitted to board an aircraft.		New	
Selective Poll	An option in a bilateral agreement to apply real time availability queries to only those flight dates so indicated by special agreement or by special AVS message codes.		New	
Selective Query	A mechanism by which a controlling airline/CRS may regulate/activate a seamless function.		IATA PSCRM	RP1008
Self-service	The process by which a customer can do one or more of the following tasks without assistance by another person: make/change a reservation, purchase a ticket, change a ticket, obtain a boarding pass, obtain baggage tags, board a flight, etc.		IATA PSCRM	RP1008
Sell and Report Agreement	A bilateral or multi-lateral agreement between airlines or between airlines and CRSs which requires the parties to exchange and maintain availability information on selected flights and between specified points. It also requires the receiver of a request for space to advise the requestor of the status of the space in accordance with known availability. For additional information see IATA PSCRM Reso 766 and RP 1771.		New	
Sell and Report Agreement	A bilateral or multi-lateral agreement between carriers which requires signatories to exchange and maintain information relative to the availability of space on selected flights and between specified points (see IATA PSCRM Resolution 766).		IATA PSCRM	RP1008

Sell and Report Agreement	A bilateral or multi-lateral agreement between Members, or between Members and CRSs, which requires signatories to exchange and maintain information relative to the availability of space on selected flights and between specified points. It further requires each signatory, upon receipt of request for another signatory"s space, to: advise the person requesting the space in accordance with known availability; and report the action to be taken under "Interline Point" above to the Member in accordance with terms of agreement.		IATA PSCRM	Reso766
Service Character (EDIFACT)	A character reserved for syntactical use in EDIFACT messages.		IATA SSIM	
Service, Delivery	The carriage of inbound consignments from the airport of destination to the address of the consignee or that of his designated agent or to the custody of the appropriate Government agency when required.		IATA PSCRM	RP1008
Servicing Airline	An airline whose computer system is used to make reservations and print (or to acquire ticketing data to print) neutral tickets either on its own behalf or on behalf of other airlines. Electronic tickets may also be used. A servicing airline shall also act as a ticketing airline.		IATA PSCRM	RP1008
Settling Airline (Claim)	The airline settling the claim with the passenger or other person acting on his/her behalf.		IATA PSCRM	Reso 780
Shared Airline Designation Flight	A flight designated by a Flight Designator of one airline but operated by another airline on its behalf as part of a commercial agreement, for example, franchise/commuter style operations. Only the Airline Designator of the first (non-operating) airline is used in the Flight Designator(s) of the operating flight.		IATA SSIM	
Shopping Availability	A facility that reads flight schedules, city pair routings, availability status and fares data to produce lists of available routings and their respective fares.		New	
Short Message Service	Short Message Service (SMS) is a communication service that allows the exchange of short text messages between mobile phone devices.		New	
Shortest Operated Mileage (SOM)	The shortest distance, using non-stop sector mileages between any pairs of points specified in the IATA Mileage Manual, subject to the basic routing provisions in IATA Resolution 011.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Side Trip	Travel from and/or to an enroute point of a fare component.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Side Trip Combination	Combination of a pricing unit at an enroute point of a fare component.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Simple Data Element (EDIFACT)	A data element containing a single value.		IATA SSIM	
Single Access System	A system in which a user has real-time direct access to a single airline"s system or a single CRS.		IATA PSCRM	Reso766
Single Access System	A system in which a user has real-time direct access to a single airline"s system. Also see "Direct Access" and "Multi-Access System".		IATA PSCRM	RP1008
SIPP	Standard Interline Passenger Procedures. The ATA equivalent to ATA/IATA AIRIMP, containing industry standard teletype formats for reservations information exchange between systems.		IATA PADIS 07.1	
SISC	See "Schedules Information Standards Committee" (IATA).		IATA SSIM	

SITA	Societe Internationale de Telecommunications Aeronautiques.		IATA SSIM	
Slot	The scheduled time of arrival or departure available or allocated to an aircraft movement on a specific date at an airport.	Schedules	IATA SSIM	
SLS	Statistical Load Summary Message. See IATA AHM 581.		New	
Smoking/No-Smoking	Description which may be applied to a flight or a seat. In each case it describes whether or not smoking may take place.		IATA PADIS 07.1	
SMS	See "Short Message Service".		New	
Sold Message	The report of a sale made under a sell and report, free sale or quote availability agreement.		IATA PSCRM	Reso766
Sold Message	The report of a sale made under a sell and report, free sale or quote availability agreement. See IATA Reso 766 for additional information.		IATA PSCRM	RP1008
SOM	The SOM is a teletype message generated by the DCS to the next downline station to advise details of seats that are not available for their use.		IATA PSCRM	RP1707b RP1712
Southern Africa	Botswana Lesotho Mozambique Namibia South Africa Swaziland	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Special Fare	Any fare other than a normal fare.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Special Service Requirement	See "SSR".		New	
Special Shipments	For example, perishables, live animals, valuables, vulnerable cargo, news material, dangerous goods etc.		IATA AHM	810
Specialized Cargo Products	For example, express cargo, courier shipments, same day delivery.		IATA AHM	810
Specified Fare	A fare in an IATA Tariff Conference Resolution.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Split	See "Divide".		New	
SPM	The SPM is a teletype message generated by a DCS to downline stations to advise details of protected seats that they cannot assign.		IATA PSCRM	RP1707b RP1711
SPWG	Schedule Policy Working Group (IATA).		IATA SSIM	
SSM	Standard Schedules Message is an interline teletype message intended for the transmission of permanent changes to, or descriptions of, the basic schedules, i.e., regularly operated flights. See IATA Standard Schedules Information Manual chapter 4 for approved formats.		New	
SSR	Special Service Requirement (SSR) is a special service to be provided to the passenger, or a service information of a reservations procedural nature which, in the opinion of the sender, requires an immediate action by and/or a reply from the receiver.	PNR	IATA AIRIMP	
SSR	Special Service Requirement (SSR). PNR record and/or message element which allows an agent to request a special service, designate a condition or provide mandatory information. Examples include special meals, identification of deaf passenger, wheelchair assistance, seat requests and government required information (APIS).		IATA PADIS 07.1	
Stand-alone System	An automated system without an interactive ticketing interface to a servicing airline/system provider. The servicing airline/system provider is not in control of the ticketing data.		IATA PSCRM	RP1008

Standard Schedules Information Manual	An IATA manual containing standards for schedule messages and files.		New	
Standard Traffic Document	Any Traffic document used or issued in an IATA BSP country/area.		IATA PSCRM	RP1008
Standby	Equivalent to the term “Go-Show”. A potential revenue passenger at a designated check-in location and who is prepared to accept space subject to availability (see IATA Resolution 766).		IATA PSCRM	RP1008
Standby or Go-Show	Equivalent to the term “Go-Show”. A potential revenue passenger at a designated check-in location and who is prepared to accept space subject to availability (see IATA Resolution 766).		IATA PSCRM	Reso766
Station	A place to which a Location Identifier has been assigned.		IATA SSIM	
Status (Availability)	Indication of the ability of an agent to book seats from an availability display. Most systems display status as a single character, either alpha or numeric, relating to a particular class. Vendor systems are able to update the status held in distribution systems by use of AVS messages.		IATA PADIS 07.1	
STD	Scheduled departure time is the published (public or privately) by a carrier as the official time for the departure of a flight from a designated station.		New	
Stock Control Number	The unique identification number that is preprinted on automated paper tickets without preprinted serial numbers, for control and blacklisting purposes.		IATA PSCRM	RP1008
Stopover	Equivalent to a "break of journey", means a deliberate interruption of a journey by the passenger agreed to in advance by the airline, at a point between the place of departure and the place of destination.		IATA PSCRM	Reso766
Stopover	Equivalent to a "break of journey", means a deliberate interruption of a journey by the passenger agreed to in advance by the airline, at a point between the place of departure and the place of destination.		IATA SSIM	
Stopover	Equivalent to a “break of journey”, means a deliberate interruption of a journey by the passenger, agreed to in advance by the carrier, at a point between the place of departure and the place of destination. For the purpose of fare construction means when a passenger arrives at an intermediate point and is scheduled to depart later than 24 hours after arrival (local time). Exception: for travel wholly within Central America or for travel wholly between Central America and Panama: when a passenger arrives at an intermediate point and is scheduled to depart later than 6 hours after arrival (local time)		IATA PSCRM	RP1008
Stopover	When a passenger arrives at an intermediate point and is scheduled to depart later than 24 hours after arrival (local time). Exception: For travel wholly within Central America or for travel wholly between Central America and Panama, when a passenger arrives at an intermediate point and is scheduled to depart later than 6 hours after arrival (local time).		IATA Tariff	Reso 012

Structured Data	Technique used to allow communication between computer systems, or between different applications within the same system. Data elements are defined in a data dictionary which is available to both parties to the exchange. By reference to this data dictionary, the receiving application or system is able to determine the meaningful content of a data stream in an efficient manner. EDIFACT and XML are examples of the use of structured data.		IATA PADIS 07.1	
Subsequent Segment	In relation to a prime segment, any segment(s) that have the same or a later date and are not the arrival segment to the prime segment.		IATA PSCRM	Reso766
System	An automated method, including equipment and programs for performing functions like reservations, issuance of tickets, etc.		IATA PSCRM	RP1008
System Provider	The person, company, corporation or other legal entity which supplies the system and is approved by the Participating Airlines.		IATA PSCRM	RP1008
Systems and Communications Reference (SCR)	The IATA Systems and Communications Reference (SCR) is a multi-volume set of documents which describes the protocols, standards and implementation issues related to inter system communications for the airline and aeronautical communities.		IATA SSIM	
Tariff, Fares	The tariff concerned with fares and related charges.		IATA PSCRM	RP1008
Tariff, Rates	The tariff concerned with rates and related charges.		IATA PSCRM	RP1008
Tariff, Rules	The tariff concerned with the general terms and conditions of carriage.		IATA PSCRM	RP1008
Tariffs	The published fares, rates, charges and/or related conditions of carriage of a carrier.		IATA PSCRM	RP1008
TAT	See "Transitional Automated Ticketing".		New	
TC	Tariff Conference		New	
TC Member	A Member of IATA who has elected to participate in Tariff Coordinating Conferences. For application between countries in the ECAA, this term shall include carriers participating under Addendum No. 3 to the Provisions for the Conduct of the IATA Traffic Conferences	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
TC Voting Member	A TC Member who has elected to vote in a given Conference area.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Technical Landing	A landing for non-traffic purposes.		IATA SSIM	
Technical Landing	A landing for other than commercial reasons where no physical change of load occurs.		IATA AHM	810
Teletype	See "Type B Messaging".		New	
Terminating	Passengers whose destination is the specified location.		New	
Terminating Flight	A flight, designated by a Flight Designator, ending at the station in question.		IATA SSIM	
THB	IATA Ticket Handbook.		New	

The Carrier's Aircraft	Any aircraft owned, leased, chartered, hired or operated or otherwise utilized by or on behalf of the Carrier and in respect of which the Carrier has either expressly or implicitly contracted, instructed or otherwise requested the Handling Company to perform or carry out any ground handling service(s).		IATA AHM	810
Through Fare	A fare applicable for travel between two consecutive fare construction points via an intermediate point(s).	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Ticket	Either the document entitled „Passenger Ticket and Baggage check" or an Electronic Ticket.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Ticket	Either the document entitled "Passenger Ticket and Baggage Check" or any electronic ticket data held in the Carrier's data base.		IATA AHM	810
Ticket	The document entitled "Passenger Ticket and Baggage Check" issued by or on behalf of the carrier and includes Notice of Contract Terms Incorporated by Reference and notices and the flight and passenger coupons contained therein. The document may be paper or electronic.		IATA PSCRM	RP1008
Ticket Handler	TICKET HANDLER means an airline used to perform ticketing services on behalf of the Operating Carrier, in locations where the Operating Carrier does not its own ticketing point and using a different system to that of the Operating Carrier.		IATA PSCRM	Reso 722f
Ticket printer	A computer driven device that makes the entries on a paper traffic document.		IATA PSCRM	RP1008
Ticket, Conjunction	A ticket issued to a passenger concurrently with another ticket(s) which together constitute a single contract of carriage.		IATA PSCRM	RP1008
Ticket, Excess Baggage	A receipt issued by a carrier to a passenger(s) of excess baggage and/or valuation charges.		IATA PSCRM	RP1008
Ticket, passenger	Those portions of the ticket issued by carrier which provide for the carriage of the passenger. The ticket may be paper or electronic		IATA PSCRM	RP1008
Ticketed Point	Points shown in the 'good for passage' section of the passenger ticket.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Ticketed Point Mileage (TPM)	The distance between pairs of points published in the Ticketed Point Mileage Manual, using non-stop sector mileages in accordance with IATA Resolution 011.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Ticketing Airline	An airline whose automated tickets are issued through the computer system of a Servicing Airline by imprinting the ticketing airline"s name and numeric accounting code.		IATA PSCRM	RP1008
Ticketing Carrier Selection Rules	The rules governing the selection by the Travel Agent of the carrier to be designated as the issuing carrier on a neutral ticket.		IATA PSCRM	RP1008
Ticketing Information	Refers to that data stored in a PNR related to the information necessary to ticket a passenger, e.g., ticket number, validating carrier and accounting code, baggage allowance, ticketing agent, horizontal fare ladder, etc. The specific information is defined according to IATA ticketing standards for automated ticketing.		IATA PADIS 07.1	
Ticketing Information Exchange Standard (TIES)	The ATA/IATA standard which defines specifications for the computer to computer exchange of airline industry ticketing information.		IATA PSCRM	RP1008
Ticketing System	The system which imprints on paper or stores electronically (electronic ticket) the automated accountable document, which is represented by a four character code in accordance with Resolution 728, Paragraph 6.		IATA PSCRM	RP1008

Ticketing Time Limit	A time by which the passenger must secure his ticket for a confirmed reservation as required by the carrier. See IATA Resolution 766 for additional information.		IATA PSCRM	RP1008
Ticketing Time Limits	The time by which the passenger must secure his ticket for his confirmed reservation as agreed with the airline. The passenger meets this requirement by purchasing a ticket which indicates his reserved space, or by having his previously issued ticket revalidated or reissued to reflect his reserved space.		IATA PSCRM	Reso766
Timetable	Facility provided in some systems to display a list of flights operating between two points with indications of day of operation, period of operation, etc., but with no attempt to indicate availability status.		IATA PADIS 07.1	
Tour Conductor	An individual who is in charge of and/or who personally escorts a group of at least 10 passengers for all or part of the itinerary.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Tour conductor	An individual who is in charge of and/or who personally escorts a group of passengers for all or part of the itinerary.		IATA PSCRM	RP1008
TPL	The TPL is a teletype message generated by the DCS to advise selected applications of all locally boarded passengers who checked in with a Ticketless Product.		IATA PSCRM	RP1707b RP1719d
TPM	See "Ticketed Point Mileage".		New	
TPM	The TPM is a teletype message generated by the DCS to the next downline station to advise of disembarking passengers.		IATA PSCRM	RP1707b RP1717
Traffic Document	Ticket, electronic ticket, MCO, EMD or any other accountable passenger traffic documents.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Transaction	A transaction is a single or series of messages exchanged interactively in an incremental fashion which satisfy a specific business requirement.	PADIS	IATA PADIS 07.1	
Transfer	A change from the service of one carrier to another service of the same carrier (online transfer) or to the service of another carrier (interline transfer).	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Transfer	An EDIFACT communication from one partner to another.		IATA SSIM	
Transfer	See "Connection".		IATA SSIM	
Transferring Carrier	A carrier who transfers a Unit Load Device to a receiving carrier at a transfer point.		IATA AHM	810
Transit Flight	A flight, designated by a Flight Designator, during an en route landing at the station in question.	Schedules	IATA SSIM	
Transit Flight	An aircraft making an intermediate landing for commercial reasons where a change of load occurs.	Airport	IATA AHM	810
Transit Station/Airport	A scheduled en route stopping station on a flight.		IATA SSIM	
Transit Time	The time an aircraft remains in transit at the station in question.		IATA SSIM	
Transitional Automated Ticket (TAT)	The form of automated ticket, normally issued by airline offices, described in IATA Resolution 722. It is a multi-copy carbonized paper ticket.		IATA PSCRM	RP1008
Transmission Control Number	A unique reference number generated by the system of the airline transmitting the ticket data, and printed on an Automated Ticket.		IATA PSCRM	RP1008
Transportation	See “Carriage”.		IATA PSCRM	RP1008
Travel	The passenger routing identified by ticketed points and not the aircraft routing	Tariff	IATA Tariff	Reso 012

Trip	The flight(s) that form the total route of a specific origin and destination. A single trip can be served by one or multiple carriers.		IATA SSIM	
Trip, Circle	Travel from a point and return thereto by a continuous circuitous air route; provided that where no reasonably direct scheduled air service is available between two points, a break in the circle may be traveled by any other means of transportation without prejudice to the circle trip.		IATA PSCRM	RP1008
Trip, Round	Equivalent to the term "Return Journey", is defined as (a) travel from one point to another and return by the same air route used outbound whether or not the fares outbound and inbound be the same, or (b) travel from one point to another and return by an air route different from that used outbound for which the same normal, through, one way fare is established. For the purpose of fare construction means travel entirely by air from a point to another point and return to the original point comprising two half round trip fare components only, for which the applicable half round trip fare for each component, measured from the point of unit origin, is the same for the routing travelled; provided that this definition shall not apply to round the world travel if the fares to be used differ through class of service/seasonality/day-of-week/carrier variations, the outbound fare shall be used also for the inbound fare component for the purpose of determining if the pricing unit is a round trip.		IATA PSCRM	RP1008
Truck Handling	Loading and/or unloading a truck operating as a Truck Service.		IATA AHM	810
Truck Service	A service operated by truck on behalf of an airline carrying loads documented in accordance with the applicable IATA and/or ICAO rules, regulations and procedures. In the Main Agreement and in Annex A, the word "aircraft" will read "truck" and "flight" will read "truck service" when it concerns the handling of a truck as meant under the above definitions. In Section 5, Item 5.3.1 of Annex A, the word "vehicle" means a conveyance of any kind to be used within the ramp area for transport of cargo between warehouse and truck or between two trucks or between two warehouses.		IATA AHM	810
Trusted Traveller	Trusted Traveller is a generic term for a program that allows a person to enroll in a government frequent traveller program. The traverller is required to provide their biometric data and undergo a background check before being approved for the program. The UK government's program is called Trusted Traveller. Several other governments plan similar programs under different names.		New	
TTY	Abbreviation for teletype machine or method of exchanging messages. A method of exchanging messages between systems at relatively low speeds and with a restricted character set. Most airline systems are connected to one or both of SITA and ARINC which are industry networks. Also known as "Teletype". See "Type B Messaging" for more information.		IATA PADIS 07.1	
Turnaround	The station in an aircraft rotation, where the flight number changes.		IATA SSIM	
Turnaround Flight	An aircraft terminating a flight and subsequently originating another flight following a complete change of load.		IATA AHM	810

Type A Messaging	A conversation message traffic. This category of traffic is designated to provide for conversational traffic for which immediate processing and response time in the order of a few seconds are the primary consideration. This type of facility does not traditionally provide store and forward features which are part of Type B traffic (teletype). It may be used to transport data between systems in real time or may be used for standard remote terminal/PC traffic. Used in the airline industry to transport data between host systems in real time. Also used to describe conversational traffic from a remote terminal to its host system.		New	
Type B Messaging	A non-conversational traffic for which immediate processing and response time are not primary considerations. This type of facility normally provides security through a store and forward feature. Delivery is accomplished using four priorities ranging from immediate delivery to deferred delivery. This type of traffic is typically called teletype. Also see "TTY".		New	
Type X Messaging	Provides a solution for high throughput reliable messaging and service oriented exchanges with XML technologies compatible with airlines business practices. It is a lightweight and decoupled protocol that allows the exchange of structured messages between peers in a reliable, decentralized, and distributed environment.		New	
UCM	ULD Control Message. See IATA IATA AHM 388.		New	
ULD	See "Unit Load Device".		New	
UN	United Nations		New	
UN/ECE	United Nations / Economic Commission for Europe.		IATA SSIM	
Unaccompanied	When used for children and infant fares, this shall mean the child/infant is not accompanied by an adult.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Unit Destination	The ultimate stopping place of a pricing unit.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Unit Load Device	A load carrying device which interfaces directly with aircraft loading and restraint systems and meets all restraint requirements without the use of supplementary equipment. As such, it becomes a component part of the aircraft. The device can be either a combination of components or one complete structural unit. A combination unit is an aircraft pallet plus net plus nonstructural igloo, or pallet plus net. A structural unit is a lower deck or a main deck cargo container, or a structural igloo assembly.		IATA SSIM	
Unit Load Device	Term commonly used when referring to containers, pallets and pallet nets. The purpose of the ULD is to enable individual pieces of cargo to be assembled into standardized units to ease the rapid loading and unloading of airplanes.		New	
Unit Load Devices	Devices which interface directly with an aircraft restraint system and are registered by the IATA ULD Technical Board.		IATA AHM	810
Unit Origin	The initial starting point of a pricing unit.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Universal Time Coordinated	For non-technical purposes such as specifying time zones, UTC is the same as Greenwich Mean Time.		New	

Upgrading	Change from the original fare paid to a higher fare (changes of seasonality, day of week, applicable related charges, resulting in a higher fare do not constitute upgrading).	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
US Territories	The overseas territories of the United States of America, including but not limited to American Samoa Johnston Atoll Swains Is Baker Is Kingman Reef Palmyra Is Guam Midway Is Wake Is Howland Is Northern Mariana Is Jarvis Is Saipan	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
USA	The 50 States, District of Columbia, Puerto Rico and US Virgin Is.	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
UTC	See "Universal Time Coordinated".		IATA SSIM	
UWS	ULD/Bulk Load Weight Signal message. See IATA IATA AHM 581.		New	
Validating Carrier	See "Carrier, Issuing".		New	
Validation	The authorized stamping or writing upon the Passenger Ticket evidencing that it has been officially issued by the carrier. Acceptance of an electronic ticket by the intended validating carrier of the ticket constitutes validation.		IATA PSCRM	RP1008
Vendor	Provider of a travel service to agents. Vendors may be airlines, hotel chains, car rental firms or any other provider of services which may be sold through a CRS. Each vendor owns the inventory for its own services which may be sold through distribution systems. It is important to note that many vendors also act as distribution systems for the services of other vendors and that both functions may reside in the same physical system.		IATA PADIS 07.1	
Waitlist	When used with PNRs, refers to the status of a passenger for a specific flight. The passenger is not confirmed but has been listed for the flight and is awaiting confirmation.	Reservation	New	
Waitlist Data	The data from the original slot allocation request(s) as recorded on the coordinator waitlist for possible improvement.	Schedules	IATA SSIM	
Western Africa	Angola Cote d'Ivoire Mauritania Benin Equatorial Guinea Niger Burkina Faso Gabon Nigeria Cameroon Gambia Sao Tome & Principe Cape Verde Ghana Senegal Central African Republic Guinea Sierra Leone Chad Guinea-Bissau Togo Congo (Brazzaville) Liberia Congo (Kinshasa) Mali	Tariff	IATA Tariff	Reso 012
Wrap-Up	Final message of the PNR transaction. This contains all the data necessary to create a PNR in the receiving system which has not already been transmitted in preceding messages such as inventory sell, seat request, or ticketing. Since Wrap-up is the first message to be defined in the PNR transaction, it is clear that the initial version (known as the hybrid wrap-up) actually must contain the whole AIRIMP PNR in an EDIFACT envelope.	EDIFACT	IATA PADIS 07.1	

XML	Extensible Mark-up Language. Structured message formats for exchange of data between systems.		New	
Year	For definition of "Year" as related to ticket validity, see IATA Resolution 735.	Ticket	IATA PSCRM	RP1008
Yield Control	Philosophy applied to many systems which attempts to maximize the income of the vendor by restricting sales of low-yield products in favor of higher yielding alternatives. For example, selling full-fare seats rather than discounted excursion seats. This may be achieved for example by manipulation of the status sent to distribution systems in an availability response by disallowing the sale of short haul flights unless in conjunction with a long-haul flight of the same vendor. The term "Revenue Management" is also applied to this process.		IATA PADIS 07.1	